

666
7-38
138

38

Архивъ
Музея

9

На правахъ рукописи.

ТЕХНОЛОГІЯ Строительныхъ Матеріаловъ

ПО ЛЕКЦІЯМЪ

Профессора Кіевскаго Политехническаго Института
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II

К. Г. Дементьева

и

ЛИТЕРАТУРНЫМЪ ИСТОЧНИКАМЪ.



Изданіе Студента Инженернаго Отдѣленія

В. А. Гласко.



КІЕВЪ.

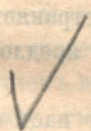
Лито-Типографія И. И. Чоколова, Фундуклеевская улица, д. № 22.

1904.

8612

W

2198

9199
8675проверено
1966 г.

ЖЕЛѢЗО.

Изъ всѣхъ металловъ, служащихъ для цѣлей техники и строительно дѣла въ частности, желѣзо имѣетъ наиболѣе широкое примѣненіе, распространяющееся въ послѣднее время съ поразительною быстротою. Этому способствуютъ съ одной стороны желаніе сдѣлать постройки по возможности несгораемыми и долговѣчными, а съ другой стороны значительное удешевленіе желѣза, зависящее отъ успѣховъ металлургіи и техники въ связи съ постепенно возрастающимъ удорожаніемъ дерева. Въ настоящее время добывается и расходуется ежегодно около 23 милліоновъ тоннъ желѣза, т. е. въ двадцать разъ болѣе всѣхъ прочихъ металловъ. Стоимость же всего нынѣ добываемаго желѣза въ полтора раза превышаетъ стоимость всѣхъ остальныхъ металловъ, не исключая золота и серебра.

Историческій обзоръ. Въ послѣднее время установлено, что въ странахъ, изобиловавшихъ желѣзными рудами, желѣзо было извѣстно ранѣе бронзы, и что, слѣдовательно, бронзовому вѣку предшествовалъ желѣзный, а не наоборотъ, какъ обыкновенно предполагають. Уже древніе греки и римляне добывали значительное количество ковкаго желѣза, употребляя его для изготовленія оружія и различныхъ инструментовъ. Они выплавляли желѣзо непосредственно изъ рудъ въ небольшихъ горнахъ. Чугунъ древнимъ народамъ, по всей вѣроятности, не былъ извѣстенъ, и лишь съ начала 16-го столѣтія начали его получать въ Германіи въ значительныхъ количествахъ, примѣняя доменные печи съ дутьемъ воздуха. Съ этого времени металлургія желѣза стала непрестанно прогрессировать, параллельно съ возрастаніемъ потребности въ этомъ металлѣ, вызванной изобрѣтеніемъ въ 1769 г. паровой машины и въ 1829 г. желѣзной дороги.

Вотъ въ хронологическомъ порядкѣ краткій перечень наиболѣе важнѣйшихъ усовершенствованій въ области металлургіи желѣза. Въ 1735 году древесный уголь при доменной плавкѣ чугуна замѣненъ болѣе дешевымъ топливомъ—коксомъ, а дутье воздуха мѣхами—воздуходувными машинами. Въ 1829 г. Nellson предложилъ замѣнить хо-

лодное дутье—горячимъ. Въ 1784 году введенъ для превращенія чугуна въ ковкое желѣзо способъ пудингованія (Cort), вытѣснившій старый и дорогой кричный способъ. Эпоху въ области желѣзнаго производства составило изобрѣтеніе въ 1855 г. Генри Бесемеромъ новаго способа фабрикаціи литого желѣза и стали изъ чугуна, названнаго въ честь изобрѣтателя способомъ „бесемерованія“. Дальнѣйшее усовершенствованіе этого способа представляетъ щелочный способъ Томаса (1879 г.). Наконецъ въ послѣднее время широко распространяется мартеновскій способъ полученія литого желѣза изъ чугуна, предложенный въ 1858 г. Мартеномъ.

Что касается до исторіи желѣзнаго производства у насъ въ Россіи, то хотя древніе славяне были уже вооружены желѣзомъ, какъ объ этомъ свидѣлствуютъ лѣтописцы, но до 16-го столѣтія производство его имѣло кустарный характеръ и лишь въ первой половинѣ 16-го столѣтія англичане строятъ первый желѣзный заводъ въ вологодской губерніи. Первый опытъ выплавки чугуна на коксѣ былъ сдѣланъ въ Россіи въ 1863 г. и съ этого времени производство желѣза начинаетъ у насъ широко и быстро развиваться. Въ настоящее время Россія производитъ въ годъ около 180 милл. пуд. чугуна *) и занимаетъ по количеству производимаго желѣза (въ различныхъ его видахъ) пятое мѣсто среди другихъ государствъ.

Первое принадлежитъ Великобританіи. Второе—С.-Американск. Соединеннымъ Штатамъ. Третье—Германіи. Четвертое—Франціи. Желѣзо, имѣющее примѣненіе въ строительной teknikѣ, т. е. приготовленное заводскимъ путемъ, не есть чистое желѣзо, но представляетъ сплавъ хим. чистаго желѣза съ различными другими элементами, изъ которыхъ наиболѣе важное значеніе имѣетъ углеродъ. Прежде чѣмъ перейти къ описанію различныхъ сортовъ заводскаго желѣза, скажемъ нѣсколько словъ о важнѣйшихъ свойствахъ желѣза химически чистаго и объ ихъ измѣненіяхъ подъ вліяніемъ различныхъ постороннихъ примѣсей **).

Химическое чистое желѣзо.

Атомный вѣсъ 56,0 (точноѣе по Лотару Мейеру 55,88). Атомная теплосмѣстность (произведеніе изъ атомнаго вѣса на теплосмѣстность=6,3. Температура плавленія по Осмонду 1500, по Кнозе 1600, по Карнели

*) Около 25.000.000 пуд. желѣза въ готовомъ видѣ и около 135.000.000 пуд. стали въ болванкахъ и отливкахъ.

**) Широкое примѣненіе желѣза въ teknikѣ и зависитъ отчасти также отъ его способности принимать разнообразныя свойства въ зависимости отъ качества и количества постороннихъ примѣсей, главнымъ образомъ углерода.

1804. Коэффициентъ линейнаго расширенія между 0 и $300^{\circ}=0,00001469$ (Dulong et Petit). Абсолютная теплопроводность $k=16,65$ при 0° и $16,27$ при 100° С. Электропроводность (по отношенію къ ртути при 0°) $=9,685$. Твердость 4,5—5. Кристаллизуется въ правильной системѣ (кубахъ или октаэдрахъ и ихъ комбинаціяхъ). Цвѣтъ химически чистаго металлическаго желѣза—серебристо-бѣлый. Во влажномъ воздухѣ желѣзо ржавѣетъ, т. е. покрывается слоемъ гидрата окиси желѣза. При накаливаніи желѣза на воздухѣ оно покрывается слоемъ окарины (Fe_2O_3). Соляная кислота и разбавленная сѣрная кислота растворяютъ желѣзо съ выдѣленіемъ водорода. Разбавленная азотная кислота растворяетъ желѣзо на холоду съ выдѣленіемъ закиси азота, если же раствореніе это происходитъ при нагрѣваніи, то выдѣляется окись азота. Но если желѣзо погрузить въ крѣпкую азотную или сѣрную кислоту, то оно не только не растворится въ послѣднихъ, то утрачиваетъ даже способность послѣ дѣйствія крѣпкихъ кислотъ растворяться въ болѣе слабыхъ. Это состояніе желѣза называется пассивнымъ.

Наиболѣе важныя для стрѣльной техники свойства желѣза суть слѣдующія. 1) Значительное сопротивленіе разрыву $=62,5$ кгр. на кв. мм. (послѣ кобальта 108,0 и никкеля 80,0 кгр. желѣзо обладаетъ изъ всѣхъ металловъ наибольшимъ сопротивленіемъ разрыву. 1) Предѣлъ упругости химически чистаго желѣза $=32$ кгр. на кв. мм.

2) Желѣзо ковко, т. е. способно въ нагрѣтомъ видѣ измѣнять свою форму подъ ударами молота, не обнаруживая трещинъ.

3) Куски желѣза свариваются, т. е. будучи предварительно нагрѣты до размягченія (но не плавленія) способны безъ дальнѣйшей обработки соединиться въ однородное цѣлое, если ихъ прижать другъ къ другу совершенно чистыми поверхностями. Вообще говоря, чѣмъ менѣе желѣзо содержитъ постороннихъ примѣсей тѣмъ выше температура плавленія, и тѣмъ легче желѣзо сваривается.

Какъ было уже сказано, въ заводскомъ желѣзѣ всегда содержится углеродъ, а также весьма нерѣдко и другія примѣси, именно: кремній, марганецъ, фосфоръ, сѣра, рѣже мѣдь, никкель, сурьма, хромъ, мышьякъ и др. Разсмотримъ вліянія этихъ элементовъ на качества желѣза.

Желѣзо и углеродъ. Углеродъ встрѣчается во всѣхъ сортахъ заводскаго желѣза, и отъ отъ его относительнаго содержанія зависятъ главнымъ образомъ тѣ или другія свойства желѣза. Соединеніе желѣза съ углеродомъ или обуглероживаніи желѣза можетъ совершаться при помощи 1) твердаго углерода—напр. при нагрѣваніи желѣза съ углемъ (цементация); 2) углеводородовъ (при соприкосновеніи раскаленнаго до красна желѣза съ парами нефти или керосина, со свѣтильнымъ газомъ и пр.). 3) газообразнаго синерода и различныхъ синеродистыхъ соединений (синеродистыхъ щелочей, кровяной соли и пр.). Однако чистое желѣзо можетъ принять самое большое $4,6\%$ углерода (1 атомъ углерода на 4.444 атома желѣза). Правда, въ расплавленномъ состояніи желѣзо можетъ поглощать еще большее количество углерода, но избытокъ

последняго выдѣлится при застываніи въ видѣ т. н. „спѣли“ (графита, выплывающаго на поверхность металла). Способность желѣза поглощать углеродъ значительно измѣняется въ присутствіи иныхъ примѣсей. Напр. присутствіе большинства металлоидовъ и въ особенности кремнія и сѣры и (менѣе очевиднымъ образомъ) фосфора уменьшаетъ способность желѣза поглощать углеродъ. Наоборотъ, металлы: марганецъ и хромъ повышаютъ разсматриваемую способность желѣза. Предполагаютъ, что углеродъ встрѣчается въ желѣзѣ въ различныхъ состояніяхъ: въ видѣ графита, карбиднаго углерода, углерода отжига и углерода закала. Объ этихъ различныхъ состояніяхъ углерода будетъ рѣчь ниже при описаніи составныхъ частей заводскаго желѣза, а теперь разсмотримъ, какое вліяніе оказываетъ углеродъ на свойства желѣза.

1) Съ возрастаніемъ содержанія углерода понижается точка плавленія желѣза (желѣзо съ 4,1% углерода плавится при 1085°).

2) Углеродъ понижаетъ ковкость желѣза (желѣзо, содержащее 1,8% углерода куется уже трудно).

3) Углеродъ понижаетъ свариваемость (при содержаніи 1,75% С. желѣзо уже не сваривается).

4) Вліяніе углерода на механическія свойства желѣза весьма значительно. Въ литомъ желѣзѣ, напр. при повышеніи содержанія углерода съ 0,1% до 0,9%, сопротивленіе разрыву увеличивается почти вдвое; въ томъ же отношеніи почти возрастаетъ и предѣлъ упругости, тогда какъ вязкость уменьшается. При содержаніи углерода немного болѣе 1% твердость достигаетъ высшаго предѣла; при дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія углерода твердость вначалѣ остается почти безъ измѣненія, а затѣмъ начинаетъ постепенно уменьшаться и приближаться къ твердости чугуна (Ледебуръ, „Желѣзо и сталь“ перев. Краснова). Относительно измѣненія механическихъ свойствъ сварочнаго желѣза и стали съ измѣненіемъ содержанія углерода имѣются пока мало проверенныя данныя. Что касается до отношенія къ сжатію, то, какъ и для другихъ металловъ, это сопротивленіе тѣмъ меньше, чѣмъ больше отношеніе длины испытываемаго стержня къ его поперечному сѣченію. Вліяніе углерода на сопротивленіе литого желѣза сжатію наглядно видно изъ результатовъ опытовъ Гове, приведенныхъ въ нижеслѣдующей таблицѣ, причемъ l —обозначаетъ длину, d —діаметръ испытываемаго стержня.

1) Испытуемые стержни имѣютъ длину— $l=8\ d$.

Содержаніе углерода.	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%
Сопротивленіе давленію въ klgr. на 1 кв. mm.	33,3	59,4	66,8	71,6

2) Общее возрастание сопротивлений давлению въ % первоначальнаго при увеличеніи содержанія углерода и при различныхъ отношеніяхъ длины къ діаметру.

Содержаніе углерода.	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%
Отношеніе $\frac{l}{d}=2$. .	0	29	43	40
„ $\frac{l}{d}=4$. .	0	29	44	63
„ $\frac{l}{d}=8$. .	0	79	106	115

5) Углеродъ понижаетъ электропроводность желѣза.

6) Сообщаетъ желѣзу способность закаливаться.

Желѣзо и кремній. Кремневый ангидридъ SiO_2 не возстано-
вляется углеродомъ даже при температурѣ бѣлаго каленія, но въ при-
сутствіи желѣза или марганца возстановленіе его до Si происходитъ
легко. Поэтому, если нагревать при надлежащей температурѣ кремне-
земъ съ желѣзомъ, содержащимъ углеродъ или марганецъ, то восстано-
вившійся кремній образуетъ съ желѣзомъ сплавъ. Вліяніе кремнія на
свойства желѣза подобно углероду, но значительно слабѣе, соответ-
ственно отношенію атомныхъ вѣсовъ (Ледебуръ). Такъ напр. присутствіе
кремнія немного понижаетъ температуру плавленія желѣза, уменьшаетъ
ковкость и свариваемость, электропроводность и удѣльный вѣсъ. Крем-
ній увеличиваетъ твердость, до извѣстнаго предѣла, повышаетъ крѣ-
пость, уменьшаетъ вязкость. По Торнеру при одинаковомъ содержаніи
углерода, въ чугуѣ maximum сопротивленія давленію получается
при содержаніи 1%, maximum сопротивленія разрыву—при содержаніи
2% кремнія. Долгое время думали, что кремній дѣлаетъ сталь хрупкой,
но затѣмъ убѣдились, что это усиленіе хрупкости происходитъ только
въ присутствіи избытка углерода. Содержаніе кремнія, однако, не ока-
зываетъ подобно углероду вліянія на способность желѣза закаливаться.
Какъ было уже упомянуто, кремній уменьшаетъ способность желѣза
поглощать углеродъ и способствуетъ образованію графита. Кремній
также считается врагомъ способности желѣза свариваться *).

*) По Ледебуру вообще въ желѣзѣ, которое идетъ для строительныхъ
цѣлей содержаніе кремнія болѣе 0.10% не желательно; но въ стали, идущей на
изготовленіе инструментовъ (напр. тигельной), содержаніе кремнія не рѣдко
бываетъ выше 0.5%.

Желѣзо и марганецъ. Марганецъ является постоянною составною частью литого желѣза по причинамъ, указаннымъ ниже; въ сварочномъ же желѣзѣ марганецъ встрѣчается лишь въ незначительномъ количествѣ. Окиси марганца способны возстановляться твердымъ углеродомъ при температурѣ лишь бѣлаго калія. Въ присутствіи желѣза и сильно основныхъ шлаковъ (въ особенности богатыхъ известью) это возстановленіе идетъ при болѣе низкой t° . При этомъ всегда образуется углеродистый марганецъ (съ 7,5% С). Марганецъ увеличиваетъ способность желѣза удерживать углеродъ въ химически связанномъ состояніи и такимъ образомъ противодѣйствуетъ выдѣленію графита. Марганецъ является противоядіемъ сѣры. Нававиѣ съ углеродомъ марганецъ повышаетъ твердость и предѣлъ упругости и уменьшаетъ вязкость и ковкость. Твердость, однако, уменьшается, а не увеличивается, если содержаніе марганца больше 3%. Предполагаютъ, что 4—5 частей марганца оказываютъ такое же вліяніе, какъ 1 часть углерода. По Ледебуру для тѣхъ случаевъ примѣненіе, гдѣ требуется желѣзо весьма ковкое и вязкое, содержаніе болѣе 0,3% Mn не желательно. При содержаніи Mn отъ 2,5% до 7% желѣзо вслѣдствіе значительной хрупкости не пригодно ни для какого употребленія, но при содержаніи $> \text{Mn } 47\%$ хрупкость исчезаетъ; получается такъ наз. марганцовистая сталь по своей твердости весьма пригодная для изготовленія рѣжущихъ инструментовъ.

Желѣзо и фосфоръ. Фосфорная кислота легко возстановляется углемъ въ присутствіи желѣза, даже при щелочныхъ шлакахъ. Въ чугунѣ доказано существованіе соединенія $\text{Fe}_3 \text{P}$ и $(\text{Mn}_3 \text{P}_2)$ (Schneider). Фосфоръ оказываетъ слѣдующія вліянія на свойства желѣза.

1) Фосфоръ понижаетъ температуру плавленія углеродистаго желѣза и дѣлаетъ его жидкоплавкимъ.

2) Повышаетъ немного его твердость.

3) Не измѣняетъ способности желѣза принимать закалку.

4) Дѣлаетъ желѣзо хладноломкимъ, т. е. желѣзо, содержащее фосфоръ, подъ вліяніемъ ударовъ и сотрясеній при обыкновенной температурѣ легко ломается, и тѣмъ легче, чѣмъ ниже t° . Это крайне вредное вліяніе фосфора объясняется тѣмъ, что фосфоръ способствуетъ образованію въ желѣзѣ крупныхъ кристалловъ, обладающихъ незначительною силою спѣленія. Однако не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что это свойство фосфора сообщать желѣзу хладноломкость находится въ зависимости отъ большаго или меньшаго содержанія связаннаго углерода въ желѣзѣ. Именно, хладноломкость увеличивается при одномъ и томъ же содержаніи фосфора съ возрастаніемъ содержанія химически соединеннаго углерода, въ особенности углерода закала. Такимъ образомъ, тогда какъ сѣрый чугунъ, въ особенности богатый кремніемъ, но съ незначительнымъ количествомъ углерода закала можетъ содержать безъ особеннаго вреда около 1% фосфора, богатая, химически связаннымъ углеродамъ сталь даже при 0,01% фосфора обнаруживаетъ уже

хладноломкость. Ковкое желѣзо, бѣдное углеродомъ, можетъ содержать до 0,2% фосфора и вообще, чѣмъ выше содержаніе въ ковкомъ желѣзѣ углерода, тѣмъ меньше можетъ оно содержать фосфора.

Желѣзо и сѣра. Сѣра весьма легко соединяется съ желѣзомъ, образуя сѣрнистое желѣзо. Последнее, въ свою очередь, образуетъ съ желѣзомъ сплавъ. Сѣра подобно фосфору является одною изъ наиболѣе вредныхъ примѣсей желѣза. 1) Сѣра хотя и понижаетъ температуру плавленія желѣза, но дѣлаетъ его густоплавкимъ и при застываніи пузыристымъ. Вслѣдствіе этого отливка изъ чугуна, содержащаго даже ничтожныя примѣси сѣры, получается съ неровностями и пустотами. 2) Примѣсь сѣры даже въ количествѣ, не превышающемъ 0,02%, сообщаетъ ковкому желѣзу „красноломкость“ или хрупкость при температурѣ красного каленія. При ковкѣ при этой температурѣ, желѣзо содержащее сѣру получаетъ рванины и можетъ даже распасться на куски. При т° бѣлаго каленія „красноломкость“ исчезаетъ. Также при обыкновенной температурѣ содержаніе, не превышающее 0,1%, S оказываетъ лишь незначительное вліяніе на прочность металла. Противоядіемъ „красноломкости“ можетъ служить марганецъ *). Ковкое желѣзо, не содержащее вовсе марганца, обнаруживаетъ „красноломкость“ уже при содержаніи 0,02% сѣры, желѣзо съ 0,6% марганца можетъ содержать до 0,1% сѣры, не дѣлаясь замѣтно красноломкимъ. Относительное количество углерода повидимому не оказываетъ никакого вліянія на красноломкость, обусловленную присутствіемъ въ желѣзѣ сѣры. Подобно кремнію сѣра уменьшаетъ способность желѣза растворять углеродъ, но однако не содѣйствуетъ выдѣленію углерода изъ желѣза въ видѣ графита, а напротивъ затрудняетъ этотъ процессъ.

Обратное выдѣленіе сѣры изъ желѣза можетъ быть произведено.

1) Посредствомъ сплавленія съ богатыми известью шлаками и углемъ. Сѣра при этомъ переходитъ въ сѣрнистый кальцій, нерастворимый въ желѣзѣ, и этотъ переходъ совершается тѣмъ легче, чѣмъ выше температура.

2) Посредствомъ сплавленія съ однимъ углемъ при богатыхъ сѣрою сортахъ желѣза. При высокомъ содержаніи углерода въ желѣзѣ выдѣленіе сѣры можетъ произойти даже путемъ простой переплавки. При сплавленіи съ С вѣроятно образуются летучія соединенія, напр. CS_2 .

3) Помощью плавленія съ кремнеземомъ и древеснымъ углемъ.

4) Сплавленіемъ съ избыткомъ марганца. При этомъ образующійся сѣрнистый марганецъ, какъ менѣе растворимый въ жидкомъ желѣзѣ, чѣмъ сѣрнистое желѣзо, большею частью выдѣляется. Помощью же однако окисленія кислородомъ воздуха (процессъ фришеванія), сѣру удалить не удастся. Помимо сѣры красноломкость ковкого желѣза, хотя и не въ столь рѣзкой формѣ, вызываютъ еще и примѣси мѣди, мыш-

*) О причинахъ красноломкости см. В. О. Т. 1903 г. № 9 ст. Евангулова.

яка, сурьмы, олова *) и кислорода **). Явленіе краснотомкости можетъ быть, наконецъ, вызвано и присутствіемъ трудноплавкихъ шлаковъ, не выдѣляющихся при термической обработкѣ.

Желѣзо, мышьякъ, сурьма, висмутъ и олово. Названные примѣси весьма рѣдко встрѣчаются въ желѣзныхъ рудахъ въ количествахъ, могущихъ оказать вліяніе на качества желѣза, и это къ счастью, ибо всѣ эти элементы способны сообщать желѣзу хладнотомкость и краснотомкость. Незначительное содержаніе олова дѣлаетъ металлъ твердымъ, хладно и краснотомкимъ. Поэтому при передѣлкѣ стараго желѣза, нужно отбрасывать бѣлую жечь, эмалированную желѣзную посуду и вообще куски металла, покрытые оловомъ. Всѣ указанные элементы легко вступаютъ въ соединеніи съ желѣзомъ и никакимъ способомъ не могутъ быть затѣмъ удалены изъ сплавовъ.

Желѣзо и мѣдь. Мѣдь немного повышаетъ прочность, но такъ же какъ сѣра, вызываетъ краснотомкость.

Желѣзо и никкель, кобальтъ, хромъ. Эти металлы легко становятся и образуютъ сплавы съ желѣзомъ. Изъ этихъ сплавовъ хромъ легко вновь выдѣляется при окислительной плавкѣ, но Ni и Co, этимъ путемъ выдѣлены быть не могутъ. Незначительныя количества этихъ металловъ вовсе не вліяютъ на свойства желѣза; болѣе значительныя—увеличиваютъ твердость и сопротивленіе разрыву, не увеличивая, однако, хрупкость (последнее обстоятельство для хрома сомнительно). Вслѣдствіе увеличенія достоинства желѣза, сплавы вышеназванныхъ металловъ съ желѣзомъ получили примѣненіе въ технику (см. ниже „никкелевая сталь, хромистое желѣзо). Сплавъ желѣза съ вольфрамомъ, такъ наз. „вольфрамовое желѣзо“, имѣетъ также значеніе въ технику, ибо вольфрамъ повышаетъ твердость и прочность желѣза (до извѣстнаго предѣла); болѣе значительныя количества вольфрама уменьшаютъ прочность), увеличивая, однако, хрупкость металла и повышая температуру плавленія.

Желѣзо и алюминій. Умѣренное содержаніе алюминія увеличиваетъ сопротивленіе разрыву, но уменьшаетъ вязкость. Температура плавленія нѣсколько понижается и, что особенно важно, небольшая прибавка алюминія (0,01—0,25%) въ чистомъ видѣ или въ видѣ сплава съ желѣзомъ (ферроалуминій), устраняетъ „пузыристость“ отливокъ. На этомъ свойствѣ алюминія и основанъ, какъ увидимъ ниже, способъ фасонной отливки стали (митисъ).

*) Олово можетъ попасть въ желѣзо вмѣстѣ съ обрѣзками жести.

**) Кислородъ, содержащійся въ литомъ желѣзѣ, до присадки марганца, обусловливаетъ краснотомкость. Главною цѣлью прибавки марганца и является уничтоженіе краснотомкости путемъ удаленія кислорода.

Заводское желѣзо.

Какъ было уже сказано, заводское желѣзо не есть химически чистое желѣзо, но содержитъ большее или меньшее количество постороннихъ примѣсей и всегда углеродъ; о вліяніяхъ этихъ примѣсей на свойства желѣза мы только что говорили. Микроскопическія изслѣдованія тонкихъ отшлифованныхъ металлическихъ пластинокъ (такъ наз. шлифовъ) указываютъ намъ, что заводское желѣзо не есть тѣло однородное, но представляетъ весьма сложную мозаику разнообразныхъ сплавовъ, простыхъ и сложныхъ тѣлъ, различныхъ какъ по химическому составу, такъ и по физическимъ свойствамъ: твердости, блеску, цвѣту, кристаллической формѣ и т. д. По своему строенію заводское желѣзо отчасти напоминаетъ гранитъ и другія родственныя ему горныя породы. По всей вѣроятности заводское желѣзо въ расплавленномъ состояніи представляетъ однородный сплавъ, который при переходѣ въ твердое состояніе распадается на нѣсколько сплавовъ съ выдѣленіемъ простыхъ и сложныхъ тѣлъ. То есть въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ явленіемъ „ликваціи“ *). Изъ жидкой массы расплавленного заводского желѣза сперва при охлажденіи должны выдѣлиться болѣе тугоплавкія соединенія, напримѣръ чистое или малоуглеродистое желѣзо; затѣмъ болѣе углеродистое желѣзо и, наконецъ, самые легкоплавкіе сплавы, (сплавы желѣза съ максимальнымъ количествомъ углерода).

Микроскопическія изслѣдованія, подтверждаемые непосредственнымъ химическимъ анализомъ, доказали, что въ различныхъ сортахъ углеродистаго (заводского) желѣза существуютъ по крайней мѣрѣ слѣдующія водоизмѣненія собственно желѣза или элементовъ структуры.

Ферритъ или желѣзистъ представляетъ собою болѣе или менѣе чистое желѣзо, выдѣляющееся при остываніи углеродистаго желѣза въ видѣ зеренъ. Главною отличительною чертою желѣзита является его мягкость (онъ—самая мягкая изъ составныхъ частей заводскаго желѣза). Тинктура іода и сильно разбавленная азотная кислота не оказываютъ на желѣзистъ замѣтнаго вліянія.

На фиг. 191 изображены зерна желѣзита мягкой стали съ 0,14% углерода при ленойномъ увеличеніи въ 300 разъ, а фиг. 192 и 193 иллюстрируютъ вліяніековки и прокатки на измѣненіе формы и группировки зеренъ желѣзита; первая раздробляетъ ихъ и разсѣиваетъ въ беспорядкѣ въ тѣлѣ углеродистаго желѣза (фиг. 194), а прокатка вытягиваетъ ихъ въ видѣ волоконъ (фиг. 195).

Цементитъ (феррокарбидъ) есть химическое соединеніе желѣза съ углеродомъ, т. е. карбидъ желѣза. Благодаря работамъ Мюллера и

*) Словомъ „ликвація“ обозначаютъ въ наукѣ всѣ явленія распада, происходящія при затвердѣваніи металловъ и сплавовъ.

Абеля, удалось изолировать это соединеніе и изслѣдовать его составъ. Оказалось, что оно соответствуетъ формулѣ Fe_3C *), гдѣ желѣзо въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ можетъ быть отчасти замѣщено хромомъ или марганцомъ. Названіе свое („цементитъ“) это соединеніе получило потому, что образуетъ въ цементной стали пластины сравнительно крупныхъ размѣровъ, видимыхъ даже, подъ обыкновенной лупой. Фиг. 196 изображаетъ шлифъ цементной стали подъ микроскопомъ (увел. 100:1). Здѣсь ясно видно, что цементитъ образуетъ цѣлыя скопленія въ видѣ прямолинейныхъ полосъ. На фиг. 197 видно строеніе цементита въ твердой тигельной стали (0,95% С.) при линейномъ увеличеніи въ 600 разъ. Здѣсь цементитъ является въ видѣ очень твердыхъ, бѣлыхъ, выпуклыхъ, блестящихъ, прямолинейныхъ или чуть извилистыхъ полосокъ, вкрапленныхъ въ тѣло сталита (Ржешотарскій). Отличительное свойство цементита—его твердость, которая по Мюллеру равняется твердости полевого шпата (№ 6 по шкалѣ Moos'a). Цементитъ самый твердый изъ составныхъ частей заводскаго желѣза. Подобно ферриту онъ не измѣняется подъ вліяніемъ слабой азотной кислоты и іодной тинктуры, но отличить другъ отъ друга эти два элемента структуры заводскаго желѣза легко по замѣтной разницѣ въ твердости. При нагреваніи съ азотною кислотою уд. в—1,2 цементитъ даетъ жидкость, окрашенную вслѣдствіе растворенія углерода въ бурый цвѣтъ, интенсивность котораго зависитъ отъ количества углерода. На этой реакціи основанъ калориметрическій способъ Эггерта опредѣленія углерода.

Перлитъ представляетъ сложную составную часть желѣза и состоитъ изъ феррита и карбида. Последніе два тѣла постоянно стремятся соединиться между собою, такъ что при избыткѣ одного изъ нихъ другое не можетъ находиться въ заводскомъ желѣзѣ въ свободномъ состояніи. Перлитъ отличается отъ феррита и карбида тѣмъ, что окрашивается слабою азотною кислотою или іодною тинктурою, и если элементы, изъ которыхъ онъ составленъ, неодинаково углублены протравкой или полировкой, то при косомъ освѣщеніи подъ микроскопомъ замѣчаются пятна или цѣлыя поверхности, отливающие радужными цвѣтами, напоминающими переливы перламутра, откуда и названіе „перлитъ“. Нерѣдко также эта составная часть желѣза носитъ названіе „сталита“ или „сорбита“ (въ честь изслѣдователя Сорби).

Въ желѣзѣ или въ очень мягкихъ сортахъ стали перлитъ по Ржешотарскому располагается въ видѣ тонкихъ сѣткообразныхъ нитокъ или полосокъ (фиг. 198), разграничивающихъ многогранные зерна желѣзита, и въ этомъ случаѣ сталитъ является оболочкою ядра желѣзита. Такую клѣточку и ей подобныя въ сидерографіи безразлично назы-

*) Цементитъ содержитъ среднимъ числомъ 7,2% С. и 92,8% Fe; а формула Fe_3C требуетъ 6,67% углерода и 93,33 желѣза.

вають зерномъ или кристалломъ, хотя слово „кристаллъ“ въ данномъ случаѣ спорно. По изслѣдованіямъ Арнольда сталь, содержащая около 0,8% углерода состоитъ изъ однихъ перлитовъ; слѣдовательно, можно приблизительно принять, что въ 100 ч. перлита (содержащаго 0,8% С.) содержится приблизительно 12 ч. карбида и 88 ч. феррита. Структура перлита, видимая только при большихъ увеличеніяхъ, напоминаетъ слои дерева (см. фиг. 199).

Закалить или иначе **мартенситъ**, **горденить**, **трениить** образуетъ существенную составную часть закаленной стали, которая получается при нагреваніи углеродистаго желѣза до высокой температуры и быстромъ затѣмъ охлажденіи. Составъ закалита въ точности еще не опредѣленъ и въ этомъ отношеніи между учеными существуютъ разногласія. Напр. по Arnold'у онъ представляетъ опредѣленное химическое соединеніе желѣза съ углеродомъ $Fe_{24}C$ (субъ-карбидъ). Въ виду того, что въ закалитѣ содержаніе углерода не постоянно, но колеблется между 0,12 и 0,9, Осмондъ предполагаетъ, что закалить не есть какое нибудь опредѣленное соединеніе желѣза съ углеродомъ, но представляетъ собою сплавъ или (растворъ) карбида или углерода (обыкновеннаго, а по мнѣнію другихъ алмазнаго) съ аллотропическимъ видоизмѣненіемъ желѣза. По всей вѣроятности закалить тождественъ съ углеродистымъ желѣзомъ, составляющимъ главную составную часть бѣлаго чугуна. Подобно закалиту это желѣзо разлагается слабыми кислотами съ выдѣленіемъ углеводородовъ. Этимъ закалить отличается отъ карбида и перлита. Другое отличіе его состоитъ въ окраскѣ въ желтый или коричневый цвѣтъ при травкѣ слабой азотной кислотой или іодной тиктурой. Наконецъ закалить легко отличить отъ другихъ составныхъ элементовъ по игольчато-му сложенію. Раньше предполагали, что хорошо закаленная сталь представляется почти аморфною. Но Осмонду на хорошо отполированныхъ шлифахъ закаленной стали удалось различить при увеличеніяхъ въ 800 разъ характерныя группы прямолнейныхъ иголокъ, параллельныхъ между собою и пересѣкающихся въ одной плоскости (см. фиг. 200).

Формы углерода въ заводскомъ желѣзѣ.

Большею частью принимаютъ въ желѣзѣ слѣдующія формы углерода. 1) Углеродъ въ свободномъ состояніи: графитъ и углеродъ отжига. 2) Углеродъ связанный химически съ желѣзомъ (или въ видѣ сплава): углеродъ карбида, перлита и закала.

Графитъ—явно кристаллическій углеродъ, встрѣчающійся въ видѣ шестиугольных таблечекъ. Въ расплавленіи желѣзѣ онъ не существуетъ, но выдѣляется при остываніи нѣкоторыхъ сортовъ заводскаго желѣза, напр. сѣраго чугуна. Ковкое желѣзо не содержитъ графита. Присутствіе кремнія и алюминія такъ же, какъ медленное охлажденіе,

способствует выделению графита, между тем, как быстрое охлаждение, а так же присутствие марганца и серы препятствует этому выделению.

Углеродъ отжига—есть скрытно кристаллическій углеродъ. Онъ образуется въ видѣ мелкихъ черныхъ точекъ при продолжительномъ нагреваніи углеродистаго желѣза до t^0 , превосходящей температуру образования карбида, но низшей, нежели температура выделения графита.

Химически связанный углеродъ иногда называютъ аморфнымъ углеродомъ, углеродъ содержащійся въ закалѣтѣ—„закаливающимъ“, а а углеродъ цементита—карбиднымъ.

Классификація продажныхъ сортовъ заводского желѣза.

Въ строительномъ дѣлѣ желѣзо находитъ примѣненіе въ видѣ чугуна и въ видѣ ковкаго желѣза; послѣднее въ свою очередь раздѣляется на собственно желѣзо и сталь. Чугунъ столь рѣзко стлчается отъ желѣза и стали, что является какъ бы самостоятельнымъ металломъ. Чугунъ не ковокъ, хрупокъ; при нагреваніи плавится сразу, т. е. переходитъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и наоборотъ безъ предварительнаго размягченія, поэтому не способенъ свариваться. Плотность чугуна около 7, тогда какъ для ковкаго желѣза оно болѣе 7.5. Значительно легче плавится, чѣмъ желѣзо и сталь. Коэффициентъ упругости его вдвое меньше чѣмъ желѣза и стали, а также сопротивленіе разрыву значительно менѣе сопротивленія ковкаго желѣза. По химическому составу чугунъ отличается отъ ковкаго желѣза тѣмъ, что содержитъ значительно больше углерода и другихъ постороннихъ примѣсей. Можно принять, что если въ желѣзѣ кромѣ углерода нѣтъ замѣтныхъ количествъ другихъ примѣсей, то границу между чугуномъ и ковкимъ желѣзомъ составляетъ металлъ, содержащій 2,3% углерода, т. е. желѣзо, содержащее болѣе 2,3% углерода, будетъ обладать свойствомъ чугуна. Эти свойства чугуна желѣзо приобретаетъ при сравнительно меньшемъ содержаніи углерода, если одно временно съ послѣднимъ оно содержитъ еще замѣтныя количества, другихъ примѣсей, въ особенности кремнія, серы и фосфора *). Значительно труднѣе отличить сталь отъ желѣза. Въ Россіи сталью обыкновенно принято называть сортъ ковкаго желѣза, обладающій способностью принимать закалку, т. е. становится твердымъ и хрупкимъ, послѣ быстрого охлажденія въ нагрѣтомъ состояніи. Подобный металлъ обыкновенно богаче углеродомъ желѣза, неспособнаго принимать ясной закалки.

*) Вообще желѣзо получаетъ названіе чугуна въ томъ случаѣ, если оно содержитъ такое значительное количество постороннихъ примѣсей, при которомъ ковокость, присущая чистому желѣзу, совершенно пропадаетъ, температура же плавленія понижается на нѣсколько сотъ градусовъ (Ледебурь).

Какъ сталь, такъ и желѣзо получаютъ изъ чугуна помощью почти одинаковыхъ металлургическихъ приѣмовъ и въ однихъ и тѣхъ же аппаратахъ. Постепенно окисляя углеродъ чугуна, получаютъ разнообразныя сорта металла, число которыхъ весьма велико, ибо незначительныя измѣненія въ $\%$ содержаніи углерода уже замѣтно вліяютъ на свойства металла. Очевидно, что при постепенномъ выжиганіи углерода, переходъ желѣза въ сталь происходитъ также постепенно, отсюда большое разнообразіе въ сортахъ ковкаго желѣза и затруднительность провести рѣзкую границу, раздѣляющую собственно желѣзо отъ стали. Въ прежнее время это было не трудно сдѣлать, ибо переходные сорта не изготовлялись вовсе и свойства желѣза и стали рѣзко разнились. Сталью тогда называли матеріалъ, содержащій больше 0,65% углерода.

Удаленіе изъ чугуна углерода и другихъ примѣсей для полученія ковкаго желѣза можетъ быть совершенно: 1) при температурѣ ниже t_0 плавленія самого желѣза (но выше температуры плавленія чугуна); 2) при температурѣ плавленія желѣза. Въ послѣднемъ случаѣ желѣзо получается настолько жидкимъ, что его можно выливать въ формы, между тѣмъ, какъ при первомъ способѣ металлъ получается не въ видѣ жидкой, но тѣстообразной массы, уплотняемой затѣмъ путемъ механической обработки, т. е. путемъ свариванія. Металлъ полученный по первому способу называется *сварочнымъ*, а по второму — *литымъ*. Какъ мы увидимъ впослѣдствіи въ строеніи этихъ двухъ сортовъ ковкаго желѣза существуетъ коренное различіе, обуславливающее также и рѣзкое различіе въ ихъ свойствахъ, независимо отъ того, способенъ ли получаемый металлъ принимать закалку или нѣтъ. Подраздѣленіе желѣза на сварочное и литое болѣе важно, потому что здѣсь можно провести рѣзкую границу, тогда какъ переходъ отъ стали къ желѣзу весьма постепененъ. Въ Англіи, Соединенныхъ Штатахъ и Франціи желѣзомъ называютъ исключительно сварочный металлъ, а литой — сталью *). Названіе желѣзо-литейный заводъ совершенно неупотребительно, а заводы, вырабатывающіе мягкое и незакаливающееся желѣзо, обыкновенно называются сталелитейными заводами. Какъ мы говорили выше, собственно между сталью и желѣзомъ нѣтъ рѣзкой границы, а поэтому приходится довольствоваться условною границею, а такъ какъ условная граница можетъ быть проведена различно, (напр. королевскимъ прусскимъ управленіемъ желѣзныхъ дорогъ „сталью“ считается та разновидность ковкаго желѣза, которая обладаетъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 50 кгр. на 1 кв. мм.), то одинъ и тотъ же металлъ нѣкоторые называютъ „сталью“, другіе „желѣзомъ“.

Для устраненія подобной путаницы въ названіяхъ международная коммиссія на всемірной выставкѣ въ Филадельфіи выработала ниже при-

*) Желая однако отличить закаливающееся литое желѣзо, таковое называютъ „мягкою сталью“.

водимую номенклатуру. При установлении этой номенклатуры за основные признаки, разделяющие сорта металла, приняты, во-первых, большее или меньшее содержание углерода, а во-вторых, способ получения металла (литой или сварочный).

Придерживаясь этой номенклатуры, мы при дальнейшем изложении курса будем различать:

ЧУГУНЪ.

КОВКОЕ ЖЕЛѢЗО

{ сварочное желѣзо и литое желѣзо.
{ сварочную сталь и литую сталь.

причемъ подь „сталью“ будемъ подразумѣвать богатое углеродомъ ковкое желѣзо, принимающее ясную закалку.

Филадельфійская номенклатура.

ЧУГУНЪ

не ковокъ, хрупокъ, при нагреваніи плавится сразу. Содержаніе углерода (кремнія, фосфора и пр.) не менѣе 2,3%.

Сѣрый чугуиъ большая часть углерода при охлажденіи выдѣляется въ видѣ графита. Цвѣтъ поверхности излома сѣрый. При высокомъ содержаніи кремнія онъ называется ферро-силиціемъ. Главныя составныя части: (ферритъ, перлитъ и графитъ).

Бѣлый чугуиъ. Главная часть углерода въ связанномъ состояніи; цвѣтъ поверхности излома бѣлый, болѣе твердъ и хрупокъ, чѣмъ сѣрый чугуиъ. Составъ структуры: карбидъ и закалить (углеродистое желѣзо).

КОВКОЕ ЖЕЛѢЗО

ковко и при обыкновенной температурѣ менѣе хрупко, чѣмъ чугуиъ. При нагреваніи постепенно размягчается до расплавления. Содержаніе углерода менѣе 2,3.

Сварочное

желѣзо (получается не въ жидкомъ, а въ тѣстообразномъ состояніи, содержитъ шлакъ).

Сварочная сталь (болѣе богата углеродомъ—0,6% и болѣе С—тверда, принимаетъ звалку). Составъ части: ферритъ, перлитъ и карбидъ.

Сварочное желѣзо (менѣе богато углеродомъ,—0,50%; менѣе твердо, но болѣе вязко и ковка) не принимаетъ ясной закалки. Составныя части: ферритъ и перлитъ.

Литое желѣ-

зо (получается въ жидкомъ состояніи, не содержитъ шлака).

Литая сталь (богаче углеродомъ—0,50% и болѣе; тверда, принимаетъ закалку). Составныя части: ферритъ, перлитъ и карбидъ.

Литое желѣзо (бѣднѣе углеродомъ — менѣе 0,50%, менѣе твердо, но болѣе вязко и ковка; не принимаетъ ясной закалки). Составныя части: ферритъ и перлитъ.

Способы получения различных сортов заводского желѣза.

Чугунъ получается путемъ доменной плавки изъ нѣкоторыхъ соединений желѣза, встрѣчаемыхъ въ природѣ. Желѣзо же и сталь получаютъ изъ чугуна, отнимая отъ послѣдняго большее или меньшее количество углерода. Способы непосредственного получения желѣза изъ рудъ хотя и давно извѣстны, но не получили распространения, ибо не столь выгодны. *) Разсмотримъ прежде всего способы получения чугуна.

Сырые матеріалы производства.

Желѣзо весьма распространено въ природѣ, въ видѣ различныхъ соединений; въ самородномъ видѣ хотя и встрѣчается, но весьма рѣдко и поэтому для нашей цѣли значенія не имѣетъ. (Самородное желѣзо встрѣчается въ метеоритахъ въ соединеніи съ никкелемъ; также найдено Норденшѣльдомъ въ Гренландіи, въ Диско). Обыкновенно же желѣзо въ природѣ находится въ соединеніи съ кислородомъ, сѣрою, мышьякомъ и т. д. Эти соединенія обыкновенно сопровождаются примѣсами углекислаго кальція, песка, глины, угля и др. Не всѣ, однако, разнообразныя соединенія желѣза пригодны для выплавки чугуна. Для этой цѣли онѣ должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: 1) содержать желѣза въ достаточномъ количествѣ, именно не менѣе 25—30%; 2) содержать его въ видѣ соединений, легко перерабатываемыхъ на металлъ; 3) не содержать нѣкоторыхъ примѣсей, въ количествахъ, могущихъ оказать вредное вліяніе на качества получаемого желѣза. Мы уже знаемъ, что наиболѣе вредными примѣсами являются сѣра и фосфоръ; поэтому встрѣчаемая въ природѣ въ огромныхъ количествахъ соединенія сѣры съ желѣзомъ, т. е. сѣрные колчеданы (FeS_2) вовсе не пригодны для выплавки чугуна. Для этой цѣли служатъ почти исключительно кислородныя соединенія желѣза, удовлетворяющія вышеприведеннымъ требованіямъ. Подобныя соединенія носятъ названіе *рудъ*, а сопровождающія ее обыкновенно кремнекислыя, глинистыя, известко-

*) Сварочное желѣзо и сварочная сталь получались у большинства народовъ еще въ доисторическое время непосредственной выплавкой изъ рудъ, на древесномъ углѣ въ небольшихъ горнахъ задолго до того какъ сдѣлался извѣстнымъ чугунъ. Въ настоящее время найдено болѣе удобнымъ получать изъ руды сначала чугунъ, ибо при этомъ достигается болѣе совершенное выдѣленіе желѣза, содержащагося въ рудѣ, чѣмъ при непосредственномъ полученіи ковкаго желѣза.

вые и др. соединенія—*пустою породою*. Важнѣйшими желѣзными рудами являются слѣдующія:

Магнитный желѣзнякъ. Минералогическій индивидуумъ имѣетъ составъ Fe_3O_4 , содержитъ 72,4% желѣза и кристаллизуется въ правильной системы. Обыкновенно руда содержитъ 40—70% желѣза, довольно тугоплавна, но при отсутствіи сѣры даетъ желѣзо высокихъ качествъ и такъ какъ встрѣчается довольно часто и въ огромныхъ количествахъ, образуя иногда цѣлыя горы, то и является одною изъ важнѣйшихъ желѣзныхъ рудъ. Главныя мѣсторожденія магнитнаго желѣзняка. находятся на Уралѣ (горы Магнитная, Благодать, Качканаръ и Высокая) въ Швеціи (Фалунъ, Даннемора) Норвегіи, (Арендаль) и въ Сѣверной Америкѣ. Сопровождается обыкновенно слѣдующими примѣсями: известковымъ шпатомъ, кварцемъ, роговою обманкою и иногда: сѣрнымъ колчеданомъ, свинцовымъ блескомъ и цинковою обманкою. Послѣднія примѣси вредны. Цвѣтъ магнитнаго желѣзняка желѣзочерный, черта черная. Твердость 5,5—6,5: уд. вѣсъ 4,9—5,2.

Безводная окись желѣза. Химическій составъ Fe_2O_3 : въ 100 ч. содержитъ 70,0 ч. желѣза. Это соединеніе встрѣчается въ природѣ въ слѣдующихъ видоизмѣненіяхъ.

Желѣзный блескъ—это самая чистая, богатая желѣзомъ разновидность, ясно кристаллическаго сложенія (гексагональная система), темносѣраго цвѣта съ сильнымъ блескомъ. Встрѣчается между прочимъ на о. Эльбѣ и у насъ въ Россіи, на границѣ Херсонской и Екатеринославской губерній (Кривой Рогъ). Черта вишнево красная.

Красный желѣзнякъ или гематитъ. Скрыто-кристалличны кроваво-краснаго или вишнево-краснаго цвѣта, черта вишнево-красная, блескъ слабый, твердость 3,5; у. в.—4,5—4,9. Примѣси: известковый шпатъ, доломитъ, кварцъ и глина. Вредныя примѣси: сѣрный колчеданъ и фосфорно-кислая известь. Содержитъ 30—40% желѣза; иногда до 65%. Большія залежи находятся въ Херсонской и Олонецкой губерніяхъ.

Бурые желѣзняки. Характеризуются содержаніемъ водной окиси желѣза съ 60% Fe; скрыто-кристалличны, даютъ черту и порошокъ бурого цвѣта. Весьма распространены въ природѣ и отличаются легкою возстановляемостью. Содержатъ отъ 20 до 60% Fe. Примѣси: кварцъ, глина, известь, доломитъ, иногда пиролюзитъ. Изъ вредныхъ примѣсей: сѣрный колчеданъ, свинцовый блескъ, гипсъ, тяжелый шпатъ. Въ Россіи бурые желѣзняки разрабатываются на Уралѣ, въ нѣкоторыхъ центральныхъ губерніяхъ, въ области Войска Донскаго, въ Царствѣ Польскомъ и въ Финляндіи. Изъ разновидностей наиболѣе извѣстны.

Болотная и озерная руда—образовалась черезъ осажденіе окиси желѣза изъ стоячихъ водъ; обыкновенно рыхлаго сложенія и сравнительно небогата желѣзомъ.

Желковатый или почковидный бурый желѣзнякъ.

Бобовая, гороховая, оолитовая, икряная руда представляет скопленія округленныхъ зеренъ отъ величины орѣха до булавочной головки. Въ большихъ массахъ оолитовая руда (Minette) встрѣчается во Франціи, гдѣ главные залежи ея тянутся отъ Нанси черезъ Эльзасъ-Лотарингію до Атуса (Бельгія) и служатъ главнымъ матеріаломъ для огромнаго желѣзодѣлательнаго и чугуноплавильнаго производствъ Эльзасъ-Лотарингіи, Люксембурга и др.

Обыкновенный или плотный бурый желѣзнякъ—мелкозернистъ и плотнѣе предыдущихъ разновидностей.

Шпатовый желѣзнякъ. Минералогическій индивидуумъ, углекислая соль желѣза Fe_2CO_3 , содержитъ въ 100 ч. 48,2 ч. желѣза и представляетъ агрегатъ кристалловъ гексагональной системы желтовато-сѣраго или желтовато-бурого цвѣта. Руда содержитъ отъ 28 до 42% Fe, рѣдко фосфоръ и поэтому особенно пригодна для добыванія стали. Примѣси: кварцъ и известковый шпатъ. Вредныя примѣси: мѣдный колчеданъ, свинцовый блескъ, рѣже сѣрный колчеданъ и очень рѣдко фосфоръ. Богатыя мѣсторожденія этой руды, дающія желѣзо высокихъ качествъ встрѣчаются въ Австріи (Штирія) и въ Германіи. У насъ встрѣчается на Уралѣ въ Златоустовскомъ горномъ округѣ, но значительныхъ залежей желѣзнаго шпата въ Россіи неизвѣстно. Разновидности шпатового желѣзняка: *Сферосидеритъ или глинистый желѣзнякъ*, въ видѣ сферическихъ желваковъ съ концентрически-скорлуповатымъ строеніемъ. Богаты примѣсью глины, а также мергеля и песка. Извѣстнѣйшія въ Россіи залежи сферосидерита находятся въ Кромскомъ уѣздѣ, Орловской губ. Въ огромныхъ количествахъ встрѣчается въ Рейнскихъ провинціяхъ, въ Силезіи, Вестфалии и особенно въ Англіи. Содержаніе желѣза 25—35%.

Угольный желѣзнякъ, какъ показываетъ само названіе смѣшанъ съ значительнымъ количествомъ угля (12—35%), а потому чернаго цвѣта. Особенно часто встрѣчается въ Англіи, составляя тамъ основу грандіозной желѣзной промышленности. Около 90% всего желѣза, выпускаемаго англійскими заводами добывается именно изъ этой руды.

У насъ въ Россіи главнѣйшими мѣстами выплавки чугуна, соотвѣтственно важнѣйшимъ мѣсторожденіямъ желѣзныхъ рудъ—являются: 1) Уралъ, (магнитный желѣзнякъ, бурый желѣзнякъ, красный желѣзнякъ) 2) Донецкій бассейнъ—(красный желѣзнякъ, желѣзный блескъ, магнитный желѣзнякъ (Корсакъ-Могила), бурые желѣзняки). 3) Привислянскій край (Петроковская и Радомская губ.) (бурые желѣзняки съ примѣсью цинка, сферосидеритъ и др. 4) Подмосковский бассейнъ (бурые желѣзняки и сферосидериты). 5) Финляндія и Сѣверная Россія (болотныя и озерныя руды, магнитный желѣзнякъ и желѣзный блескъ). Затѣмъ весьма многочисленныя залежи желѣзныхъ рудъ встрѣчаются въ Сибири и на Кавказѣ.

Въ заключеніе привожу таблицу анализовъ наиболѣе характерныхъ рудъ Россійской имперіи (по Бунге).

	Окись-закись же- лѣза (Fe_2O_4).	Окись желѣза (Fe_2O_3).	Закись желѣза (FeO).	Окись-закись марган- ца (закись марганца).	Вода и потеря при прокаливании.	Кремнеземъ (SiO_2).	Окись алюминія (Al_2O_3).	Окись кальція (CaO).	Окись магнія (MgO).	Фосфоръ (фосфор- ная кислота).	Сѣра.	Мѣдь.	Титановая кислота (TiO_2).
Магнитный же- лѣзнякъ изъ Высокой горы.	86,34	—	—	0,57	—	7,87	3,57	0,91	0,36	0,05	Слѣд.	0,03	—
Магнитный же- лѣзнякъ изъ Борсакъ-Мо- гилы	93,5	—	—	—	—	0,94	—	—	—	0,02	—	—	—
Красный же- лѣзнякъ изъ Кривого-Рога.	—	93,6 до 95,6	—	—	—	3,00	—	—	—	0,03	—	—	—
Красный же- лѣзнякъ Троиц- каго рудника, (Соликомскій уѣздъ, Пермск. губерніи). . .	—	80,52	0,51	0,30	0,48	13,10	1,17	1,94	1,96 (0,11)	0,05	Нѣтъ.	—	—
Бурый желѣз- някъ на р. Га- кунь (Орен- бургской губ.).	—	80,52	—	0,09	11,96	4,12	2,89	0,11	0,04 (0,18)	Нѣтъ.	—	—	—
Бурый желѣз- някъ «Большо- Приклонская» Владимирск. губ.	—	66,9	—	(3,93)	13,04	10,38	3,67	0,79	0,49 (0,25)	—	—	—	—
Сферосидеритъ изъ «Днявѣво- Монастырская» Оболочки . . .	—	79,92	—	(2,06)	12,82	4,90	0,64	0,94	0,52	—	—	—	—
Ядро	—	1,02	54,23	(1,57)	32,35	2,35	0,51	2,14	0,91	—	—	—	—
Бурый желѣз- някъ изъ Жито- мирскаго уѣз- да, Волынской губ. (авал. Л. Л. Лунда). . . .	—	57,41—61,45	—	0,04—0,17	9,41—10,64	11,19—14,21	11,63—15,94	0,26—0,69	0,40—0,85	—	—	—	3,34
Финляндская озерная руда.	—	41,7—69,0	—	0,35—27,36	—	9,96—22,6	2,9	—	—	(0,12—1,87)	—	—	0,0—0,005

Выплавка чугуна.

Подготовительныя работы. Добытая из рудников руда обыкновенно передъ плавкой приходится подвергать различнымъ подготовительнымъ операціямъ. Цѣль ихъ—съ одной стороны получить куски наивыгоднѣйшей величины, а съ другой—произвести разрыхленіе или нѣкоторыя измѣненія въ химическомъ составѣ матеріаловъ, полезныя при послѣдующей операціи доменной плавки. Чѣмъ мельче измельчена руда, тѣмъ большая поверхность соприкосновенія матеріала съ различными агентами; но съ другой стороны слишкомъ мелкая руда, плотно слеживаясь въ печи, можетъ представить значительное сопротивленіе прохождению газовъ. Считаютъ за правило для древесноугольныхъ доменныхъ печей—разбивать и сортировать руду до размѣровъ грецкого орѣха, а для коксовыхъ доменныхъ печей—съ кулакъ. Измельченіе рудъ производится иногда въ ручную, но чаще при помощи различныхъ машинъ: въ толчеяхъ, въ вальцахъ, въ камнедробилкахъ и т. п.

Обжигъ. Передъ измельченіемъ руду нерѣдко подвергаютъ обжигу въ кучахъ, стойловыхъ печахъ, шахтныхъ и пламенныхъ. Цѣль обжига съ одной стороны—разрыхлить руду и тѣмъ облегчить послѣдующее раздробленіе, а съ другой стороны вызвать нѣкоторыя желательныя измѣненія въ химическомъ составѣ матеріала. При обжигѣ улетучивается въ видѣ SO_2 и SO_3 значительная часть сѣры; цинковая обманка ZnS , отчасти превращается въ ZnSO_4 , соединеніе легко растворяющееся въ водѣ. Также относится и свинцовый блескъ, PbSi . Наконецъ, при обжигѣ имѣетъ мѣсто удаленіе гигроскопичной и гидратной воды, превращеніе карбонатовъ желѣза и закисныхъ соединеній въ окисныя. А окись желѣза значительно легче восстанавливается углемъ, чѣмъ закись, хотя въ послѣдней заключается менѣе кислорода. Это странное явленіе объясняется разрыхленіемъ руды, имѣющимъ мѣсто при химическомъ процессѣ окисленія во время обжига. Температура, при которой долженъ быть веденъ обжигъ, зависитъ отъ свойства какъ руды, такъ и сопровождающей ея пустой породы. Во всякомъ случаѣ не должна быть настолько высока, чтобы руда спекалась. Для рудъ съ примѣсью кварца температура напр. должна быть ниже, чѣмъ для чистыхъ рудъ. Вообще лучшею температурою для обжига можетъ считаться температура краснаго каленія. Лишь очень плотныя руды (магнитный желѣзнякъ) съ цѣлью удалить по возможности всю сѣру, приходится обжигать почти при бѣлокалильномъ жарѣ. Тѣ химическія и физическія измѣненія руды которыя совершаются при обжигѣ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, возможно достигнуть также путемъ „вывѣтриванія“ (вымораживанія) въ теченіе 2—3 годовъ. Отъ дѣйствія атмосферныхъ агентовъ: воздуха, влажности, а также перемѣны температуръ руды разрыхляются и измѣняютъ свой химическій составъ. Сѣрнистые металлы при этомъ превращаются въ сѣрноокислые, кото-

рые затѣмъ вымываются дождемъ. Иногда естественное вымываніе замѣняется искусственнымъ выщелачиваніемъ. Сравнительно рѣдко желѣзныя руды подвергаютъ операціямъ „механическаго обогащенія“, какъ слишкомъ дорогихъ для сравнительно дешеваго желѣза.

Промывка руды производится иногда съ цѣлью удалить прилипшіе къ ней песокъ и глину. На небольшихъ заводахъ для этой цѣли употребляютъ неподвижные вальгерды или подвижныя качающіеся рѣшета, а на большихъ чаще всего желѣзные вращающіеся барабаны.

Подготовленные вышеописаннымъ образомъ руды содержатъ желѣзо въ видѣ окиси Fe_2O_3 . Окись желѣза при дѣйствіи на нее восстанавливающихъ средствъ, напр. углерода, окиси углерода, легко при возвышенной температурѣ отдаетъ свой кислородъ, восстанавливаясь при этомъ до металлическаго желѣза: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 3\text{CO}_2 + 2\text{Fe}$. Вслѣдствіе тугоплавкости металлическаго желѣза его невыгодно получать непосредственно изъ руды; получаютъ обыкновенно болѣе легкоплавкій чугунокъ, путемъ присоединенія нѣкотораго количества углерода къ желѣзу. Какъ было сказано, руды всегда сопровождаются пустыми породами (напр. глиною, известнякомъ, кварцемъ и др.) Сами по себѣ эти соединенія весьма тугоплавки. Чтобы понизить температуру плавки, къ рудѣ прибавляютъ предварительно различныя вещества, могущія образовать въ доменной печи съ пустою породою легкоплавкіе стеклообразныя соединенія (т. н. шлаки). Прибавляемые вещества называются *флюсами* или *плавнями* и самый процессъ смѣшенія ихъ съ рудою, называется „*составленіемъ шихты*“ или *засыпью*. Составъ флюсовъ находится въ зависимости отъ состава пустой породы. Если напр. къ рудѣ примѣшана глина, то прибавляютъ известь; если известнякъ, — то кремнеземъ. Образующіеся при плавкѣ двойные силикаты алюминія и извести въ видѣ жидкаго стекла (шлака), какъ обладающіе значительно меньшимъ удѣльнымъ вѣсомъ, чѣмъ желѣзо, будутъ плавать надъ послѣднимъ и могутъ быть затѣмъ легко удалены. При обработкѣ глинистыхъ и кремнистыхъ рудъ флюсами служитъ известь или известняки, рѣже доломиты, иногда плавиковый шпатъ. Если руда содержитъ углекальцевую или углемангнєвую соль, флюсами — глина, песчаникъ и рѣже чистый кварцъ. Часто прибавляютъ также шлаки отъ предшествующихъ плавокъ. Наконецъ, иногда при составленіи шихты съ цѣлью понизить точку плавленія шлаковъ примѣшиваютъ еще натуральную перекись марганца и др. Относительныя количества прибавляемыхъ флюсовъ зависятъ: 1) отъ свойства и химическаго состава руды, 2) отъ качествъ получаемаго чугуна и 3) отъ хода самой плавки. Вообще говоря, переработка трудно восстанавливающихся рудъ (напр. магнитнаго желѣзняка), полученіе сѣраго чугуна и выплавка на коксѣ, требуетъ трудноплавкихъ шлаковъ, переработка же легко восстанавливающихся рудъ (сидеритъ, бурый желѣзнякъ), полученіе бѣлаго чугуна и выплавка на древесномъ углѣ — легкоплавкихъ шлаковъ. Обыкновенно берутъ при составленіи шихты флюсы въ такихъ коли-

чествахъ, чтобы получить шлаки, составъ которыхъ лежалъ бы между одно и двухкремнеземами: $2R'O.SiO_2$ или $2R_2'''O_3.SiO_2$ и $R''O.SiO_2$ или $R_2'''O_3.3SiO_2$, и измѣняютъ температуру плавленія ихъ измѣненіемъ отношенія содержанія алюминія и кальція. Температура плавленія большинства шлаковъ 1000—1300°. Привожу средній составъ различныхъ шлаковъ.

Составъ шлаковъ при выплавкѣ.	Кремнеземъ (SiO_2).	Окись алюминія.	Другія основанія (CaO , MgO , MnO , FeO и пр.).	Отношеніе между ки- слородомъ кремнезема и кислород. основаній.
Сѣраго чугуна на дре- весномъ углѣ	45—65%	10—5%	45—30%	1,1—2,4%
Сѣраго чугуна на коксѣ.	30—35 "	15—10 "	50—55 "	0,8—1,5 "
Бѣлаго чугуна на дре- весномъ углѣ	45—50 "	10—5 "	45—55 "	1,3—1,6 "
Бѣлаго чугуна на коксѣ.	30—40 "	10—5 "	60—55 "	0,8—1,3 "

Отношеніе между количествомъ шлаковъ и чугуна должно=0,8 : 1 до 0,7 : 1. При этихъ отношеніяхъ объемъ получаемыхъ шлаковъ будетъ въ 2—4 раза болѣе объема выплавляемаго чугуна.

Выплавка чугуна.

Для полученія чугуна изъ шихты необходимо во 1-хъ восстано-
вить желѣзо изъ его окисловъ, во-2-хъ соединить его съ углеродомъ
для образованія чугуна, въ 3-хъ соединить составныя части шихты до
образованія легкоплавкихъ шлаковъ и въ 4-хъ, расплавить чугунъ.
При этихъ операціяхъ необходимо соблюсти слѣдующее условіе: обра-
зованіе шлаковъ должно начаться лишь по восстановленіи окисловъ
желѣза. Въ противномъ случаѣ часть окисловъ желѣза перейдетъ въ
шлаки. Если еще принять во вниманіе, что восстановленіе окисловъ
желѣза углеродомъ и CO происходитъ при температурѣ значительно
низшей, нежели образованіе шлаковъ и расплавленіе чугуна, то ясно,
что при операціи выплавки чугуна нагрѣваніе засыпи должно происхо-
дить при постепенно возвышающейся температурѣ. Вслѣдствіе этого
аппаратамъ, въ которыхъ происходитъ выплавка чугуна придаютъ
форму шахтныхъ печей, въ которыхъ сверху засыпаются попеременно
слоями руда и горючій матеріалъ и въ которыхъ снизу вдувается воз-

духъ. Аппараты эти называются „доменными печами“. Топливо, служащее для выплавки чугуна должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: 1) содержать какъ можно менѣе сѣры и фосфора; 2) не давать при нагрѣваніи паровъ воды и продуктовъ сухой перегонки; 3) не спекаться и не распадаться въ порошокъ и 4) не измѣняться значительно въ своемъ объемѣ. Последнія 3 требованія—въ виду обезпеченія равномернаго передвиженія засыпи сверху внизъ и вообще правильного хода плавки. Этимъ условіямъ удовлетворяютъ древесный уголь (Р и S отсутствуют) и коксъ съ возможно меньшимъ содержаниемъ фосфора и сѣры. Въ исключительныхъ случаяхъ употребляютъ впрочемъ и другіе сорта топлива: торфяной уголь, нефтяные остатки, антрацитъ и пр.

Доменные печи.

На фиг. 201 представлена въ вертикальномъ разрѣзѣ доменная печь прежняго образца. С—колошникъ, черезъ который забрасывается въ печь шихта и топливо, доставляемая на мостъ L помощью особыхъ подъемниковъ. D—собственно шахта, E—распоръ; F—запечики, G—верхній горнъ, H—нижній горнъ или металлоприемникъ. Надъ послѣдними расположены фурмы, черезъ которыя дувается по трубамъ d въ печь воздухъ; а—внутренняя огнеупорная футеровка печи. А—массивный кирпичный наружный кожухъ, для избѣжанія потери теплоты вслѣдствіе лучеиспусканія. Подобная форма печи обусловлена слѣдующими соображеніями. Нижняя часть доменной печи представляетъ собственно газовый генераторъ, работающій съ дутьемъ. Поднимающійся изъ него токъ газовъ передаетъ опускающемуся столбу руды теплоту и возстановляетъ желѣзо (главнымъ образомъ помощью CO). Для того, чтобы вздуваемый воздухъ могъ проникать до оси печи и для достиженія равномернаго горѣнія, поперечное сѣченіе шахты въ плоскости фурмъ значительно сужено. Затѣмъ, чтобы заставить поднимающійся токъ газовъ по возможности равномерно проходить черезъ находящійся надъ ними столбъ шихты, расширяютъ конически шахту надъ поясомъ горѣнія (запечики). Этимъ удлиняютъ путь газовъ возлѣ стѣнъ печи, ибо здѣсь они встрѣчаютъ наименьшее сопротивленіе. Основаніемъ для такого расширенія служить еще и то обстоятельство, что объемъ шихты надъ поясомъ горѣнія больше, такъ какъ въ этомъ поясѣ сгораетъ уголь и, кромѣ того, расплавленное желѣзо и шлакъ занимаютъ меньшій объемъ, чѣмъ руда, изъ которой они получались. Выше самой широкой части запечиковъ (E—распоръ) печь принимаетъ цилиндрическую форму (или даже снова суживается, но кверху) ибо дальнѣйшее расширеніе шахты выше распора было бы вредно, такъ какъ обусловливало бы скатываніе болѣе крупныхъ кусковъ шихты къ срединѣ печи; отсюда—неровный ходъ. Такимъ образомъ форма внутреннего продольнаго сѣченія доменныхъ печей ко-

леблется между формою двухъ усѣченныхъ конусовъ, сложенныхъ широкими основаніями и формою бочки. (Фиг. 202). По роду устройства металлопріемника, различаютъ домны съ открытою и закрытою грудью. (Фиг. 203), изображаетъ горнъ съ открытою грудью, часто устраиваемый въ прежнее время; теперь значительно рѣже. Здѣсь металлопріемникъ продолженъ съ одной стороны наружу, такъ что жидкій металлъ и плавающий на его поверхности шлакъ видны снаружи. Устройство горна съ открытою грудью (или зумфъ-офена), представляя нѣкоторое удобство въ смыслѣ легкости доступа въ печное пространство, имѣетъ однако слѣдующіе существенные недостатки: необходимо останавливать дутье передъ выпускомъ чугуна, вслѣдствіе чего съ одной стороны уменьшается производительность печи, а съ другой—имѣетъ мѣсто охлажденіе горна, обуславливающее расстройство всего процесса, что въ свою очередь связано съ значительнымъ расходомъ топлива для возстановленія нормальнаго хода. Въ виду этого въ настоящее время обыкновенно пользуются печами съ закрытою грудью или такъ наз. блауфенами (фиг. 204). Въ этихъ печахъ горнъ кругомъ закрытъ, за исключеніемъ воздушныхъ отверстій; d—отверстіе для выпуска шлаковъ, e—для выпуска расплавленнаго чугуна.

Новѣйшія усовершенствованія въ устройствѣ доменныхъ печей. Въ новыхъ доменныхъ печахъ массивный наружный кирпичный кожухъ совершенно отброшенъ и замѣненъ лишь желѣзнымъ кожухомъ, облегающимъ футеровку; иногда же ограничиваются лишь обручами и связями, стягивающими футеровку. Подобнымъ устройствомъ достигли: 1) значительнаго сокращенія стоимости печи, 2) болѣе значительнаго наружнаго охлажденія. На ф. 205 изображена печь новѣйшаго устройства.

Излишне, разумѣется, говорить, что для устройства внутреннихъ частей горна, заплечика и средней части домны необходимо примѣнять матеріалъ по возможности болѣе огнеупорный. Наибольшее распространеніе получили основные кирпичи, состоящіе изъ извести или магнезіи или изъ смѣси того и другого основанія. Особенно пригодными для облицовки горна и пода доменъ оказались магнезіальные кирпичи.

Однимъ изъ существенныхъ усовершенствованій доменной плавки является замѣна холоднаго дутья—горячимъ дутьемъ, т. е. предварительное нагрѣваніе воздуха передъ его впускомъ въ домну. Въ настоящее время „горячее дутье“ распространено повсемѣстно. Предварительное нагрѣваніе воздуха до 500—800° С. совершается въ особыхъ аппаратахъ, такъ наз. „воздухонагрѣвателяхъ“. Ихъ два типа. Одни представляютъ собою печь, въ нагрѣвательномъ пространствѣ которой расположены желѣзные или чугунныя трубы, по которымъ пропускаютъ нагрѣваемый воздухъ, другіе устраиваются по типу регенераторовъ Сименса съ огнеупорными кирпичами. Предварительное нагрѣваніе воздуха увеличиваетъ производительность печи, усиливаетъ пирометрическій эффектъ топлива и на 30% уменьшаетъ расходъ послѣдняго.

Однако не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что сберегая топливо горячимъ дутьемъ мы одновременно уменьшаемъ количества окиси углерода; при доменной плавкѣ можетъ поэтому наступить моментъ, при которомъ образовавшееся при окисленіи углерода топлива количество СО окажется недостаточнымъ для процесса и часть окисловъ желѣза возстановится на счетъ твердаго углерода, что, какъ извѣстно невыгодно въ смыслѣ расхода топлива. Этотъ моментъ при которомъ горячее дутье можетъ оказаться уже невыгоднымъ наступить очевидно тѣмъ раньше, чѣмъ легче возстановляются руды, чѣмъ меньше домна чѣмъ легче спораеть топливо и, наконецъ, чѣмъ съ меньшимъ содержаніемъ марганца и кремнія мы желаемъ получить чугуны. Такъ напр. при полученіи изъ трудно возстановляемыхъ рудъ съраго чугуна въ большихъ коксовыхъ домнахъ, можно производить дутье воздуха съ t° выше 800° , а при полученіи бѣлаго чугуна изъ легкоплавкихъ рудъ на древесномъ углѣ воздухъ слѣдуетъ нагрѣвать лишь до 300° С.

Одною изъ важнѣйшихъ усовершенствованій чугунно-плавильнаго дѣла является также утилизація колошниковыхъ газовъ. Выходящія изъ колошника газы содержатъ много окиси углерода, которая въ домнахъ стараго типа тутъ-же сгорала безъ пользы; въ новѣйшихъ же домнахъ газы эти послѣ предварительной очистки, утилизируются для нагрѣванія вдуваемого въ печь воздуха, паровыхъ котловъ и т. п. Для улавливанія колошниковыхъ газовъ можетъ служить приспособленіе, изображенное на ф. 206. Оно состоитъ изъ вставленной въ колошникъ воронки а, нижнее отверстіе которой закрыто металлическимъ конусомъ б, подвѣшанномъ на коромыслѣ с. d. d.—кольцевой каналъ изъ котораго колошниковые газы отсасываются изъ домны. Ясно, что при подобномъ устройствѣ колошникъ закрывается наглухо сверху и открывается только при засыпкѣ шихты, опусканіемъ конца б. Горячій воздухъ въ домну доставляется помощью трубъ, оканчивающихся соплами. Эти сопла помѣщаются въ такъ наз. фурмы, которыя въ свою очередь вставляются въ фурменные отверстія. Число отверстій для фурмъ зависитъ отъ размѣра печи: отъ 3 до 12. При горячемъ дутьѣ фурмы дѣлаются лучше всего изъ фосфористой бронзы и представляютъ коническія трубки съ двойными стѣнками, въ пространство между которыми непрерывно протекаетъ для охлажденія вода.

Изъ другихъ вспомогательныхъ аппаратовъ домны слѣдуетъ еще упомянуть объ машинахъ для подъема сырыхъ матеріаловъ и для вдуванія воздуха. Первые чаще всего являются канатными подъемными машинами, приводимыми въ дѣйствіе паровой силою, а вторыя—горизонтальными воздуходувками, способными сообщить дутью упругость до 0,5 килогр. на 1 кв. сантим.

Размѣры домы и расходъ топлива. Въ настоящее время емкость доменныхъ печей большею частью составляетъ отъ 300 до 500 куб. метр. Но существуютъ и очень небольшія домны до 30 куб. метр. (при древесномъ углѣ) и гигантскихъ размѣровъ до 850 куб. метр.

(при коксѣ). Высота древесноугольныхъ доменныхъ печей колеблется между 8 и 12 метр. (въ Россіи до 16 метр.); коксовыя печи большею частью бывають высотой въ 18—24 метра при діаметрѣ распора 5—6 метр. На основаніи опыта отношеніе между высотой и поперечникомъ распора дѣлають рѣдко менѣе 3 и болѣе 4. Можно принять что для выплавки 100 пуд. чугуна требуется отъ 65 до 100 пуд. древеснаго угля или отъ 85 до 150 пуд. кокса въ зависимости отъ свойства какъ руды, такъ и получаемаго чугуна.

Производительность домны варьируетъ въ широкихъ предѣлахъ. Въ большинствѣ случаевъ, однако, можно принять при древесномъ углѣ производительность домны въ сутки отъ 12 до 20 тоннъ чугуна, а при коксѣ отъ 70—150 тоннъ чугуна. Существуютъ однако домны, работающія на древесномъ углѣ и дающія въ сутки около 5000 пуд. чугуна, а новѣйшія доменные печи на коксѣ доставляютъ нерѣдко до 20.000 пуд. чугуна въ сутки.

Общій ходъ работы доменной печи.

Пускъ въ ходъ вновь выстроенной или отремонтированной домны называется ея „задувкой“. Передъ задувкой необходимо домну хорошенько и постепенно просушить сначала путемъ воздушной сушки, а затѣмъ направляя изъ сложенной передъ нею временки жаръ въ нижнюю часть домны. Когда домна достаточно высушена и прогрѣта, ее постепенно наполняютъ топливомъ, къ которому прибавляютъ нѣкоторое количество извести для ошлакованія золы топлива. По мѣрѣ сжиганія топлива, начинаютъ прибавлять шихту первоначально съ увеличеннымъ содержаніемъ флюса, которое постепенно уменьшается до полученія нормальнаго отношенія между количествомъ руды, флюса и топлива въ колошѣ. Какъ только первый слой руды дойдетъ до уровня фурмъ, начинаютъ вдвухъ воздухъ, также постепенно усиливая дутье до нормы. Разъ домна пущена въ ходъ—работа идетъ безъ перерыва днемъ и ночью. По мѣрѣ опусканія засыпки въ домну сверху забрасываются чередующимися слоями заранее отвѣшанныя и поднятые рудные и угольные колоши; *) образующіеся, расплавленные чугуны и шлаки скопляются въ нижнемъ горнѣ. Шлаки выпускаются непрерывною струею, а чугуны періодически (2—6 разъ въ 24 часа) по мѣрѣ его накопленія въ нижнемъ горнѣ. Для выпуска чугуна пробиваютъ замазанное глиною отверстіе въ стѣнкѣ горна и выпускаютъ расплавленный металлъ по наклоннымъ бороздамъ въ формы (гнѣзда), образованныя, какъ и самыя борозды въ слое песка, покрывающемъ почву вокругъ

*) При плавкѣ на коксѣ всѣхъ рудныхъ колошъ отъ 350 до 600 пудовъ, коксовыхъ—120—240 пуд.

домны. Въ этихъ гнѣздахъ чугуны застываетъ, образуя т. н. свинки или штыки—бруски вѣсомъ въ 2—5 пудовъ, составляющіе окончательный продуктъ доменнаго процесса. Разъ пущенная въ ходъ домна продолжаетъ непрерывно работать день и ночь и останавливается лишь при необходимости произвести капитальный ремонтъ. Періодъ дѣйствія печи отъ задувки до остановки называется ея „кампаніей“. Когда домну приходится останавливать на продолжительное время, приступаютъ къ ея „выдувкѣ“. Для этого прекращаютъ засыпку колошъ, продолжая однако дутье до тѣхъ поръ, пока передъ фурмами не исчезнутъ расплавленные массы. Такъ какъ подышмающія газы неохладаются болѣе свѣжею загрузкою, то изъ колошника выбрасывается высокій столбъ пламени. Для его прекращенія, засыпаютъ сверху въ колошникъ—известнякъ.

Процессы въ доменной печи.

Прослѣдимъ сначала измѣненія въ составъ вдуваемого воздуха при его восхожденіи отъ отверстія фурмъ до колошниковаго отверстія. Кислородъ воздуха приходя въ соприкосновеніе съ раскаленнымъ до бѣла углемъ превращается въ окись углерода. Окись углерода, какъ было уже сказано, является главнѣйшимъ факторомъ возстановляющимъ окислы желѣза. При этомъ CO превращается въ угольный ангидридъ CO_2 . Если температура въ верхней части шахты выше нормы, то можетъ имѣть мѣсто обратное полученіе окиси углерода воздѣйствіемъ твердаго горючаго на уголекислоту $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$; полученная такимъ образомъ окись углерода можетъ удалиться изъ домны, не вступивъ въ реакцію; увеличится значительно, слѣдовательно, расходъ топлива. Но и при нормальной температурѣ въ верхней части шахты, отработанные газы содержатъ всегда извѣстный $\%$ CO . Это объясняется тѣмъ, что при извѣстномъ отношеніи между количествами окиси углерода и уголекислоты, возстановляющей дѣйствіе перваго соединенія, нейтрализуются окисляющимъ дѣйствіемъ второго и смѣсь газовъ становится недѣятельною. Главная часть азота воздуха газовъ остается при доменномъ процессѣ безъ измѣненія и лишь незначительная часть дѣйствуя на уголь въ присутствіи щелочей, образуетъ синеродистыя соединенія. Охлаждаясь постепенно, колошниковые газы, состоящіе изъ азота, CO , CO_2 , ціанистыхъ соединеній, паровъ воды, колошниковой пыли и пр. оставляютъ домну съ температурою около 180—300° С. Составъ колошниковыхъ газовъ, въ нижеприведенной таблицѣ, доказываетъ, что они представляютъ весьма цѣнное топливо, не уступающее по своимъ достоинствамъ генераторному газу.

	% по объему.		% по вѣсу.	
	отъ—до	среднее.	отъ—до	среднее.
Азотъ	55—65	60	54—60	58
Окись углерода (CO) .	20—32	24	22—20	24
Угольн. ангидридъ (CO ₂)	6—18	12	8—24	17
Водородъ	1—6	2	0—0,4	0,2
Углеводороды	0—6	2	0—3	0,8

Помимо примѣненія для отопленія паровиковъ, для нагреванія воздуха, колошниковые газы стали примѣняться въ послѣднее время также непосредственно для газовыхъ двигателей большой силы.

Теперь прослѣдимъ за движеніемъ угольныхъ и рудовыхъ ко-лошъ послѣ ихъ загрузки въ печь черезъ колошники. Въ верхней трети шахты еще не имѣютъ мѣсто восстановительные процессы, ибо температура въ этомъ „подготовительномъ поясѣ“ печи недостаточно велика. Здѣсь руда, флюсъ и уголь лишь нагреваются тепломъ отхо-дящихъ газовъ и теряютъ воду. Восстановленіе окисловъ желѣза на-чинается лишь при t° около 400° (изъ окиси получается магнитная окись) и оканчивается въ верхней части заплечиковъ при 800° , съ образованіемъ желѣза губчатого сложенія. Но почти одновременно съ указанною протекаетъ и другая важная реакція: $2CO = C + CO_2$, т. е. двѣ частицы окиси углерода, въ соприкосновеніи съ желѣзомъ, содер-жащимъ закись, распадаются на одну частицу углекислоты и углеродъ, осаждающійся въ видѣ весьма мелкаго порошка на губчатомъ желѣзѣ, его растворяющемъ; желѣзо при этомъ обуглероживается, т. е. превра-щается въ чугуны. Нижнія двѣ трети шахты и верхняя часть заплечиковъ, въ которыхъ эти процессы происходятъ, носятъ названіе „вос-становительнаго пояса печи“. Въ средней части этаго пояса имѣетъ мѣсто также выдѣленіе CO_2 изъ известняковъ и желѣзнаго шпата. Плав-леніе образовавшагося чугуна, равно какъ и образованіе шлаковъ про-исходитъ затѣмъ въ нижней половинѣ заплечиковъ и въ верхней ча-сти горна (поясъ плавленія) въ которомъ t° колеблется отъ 1600 до 2000° С. Наконецъ въ горнѣ, въ поясъ сжиганія всегда имѣетъ мѣсто еще и процессъ прямого восстановленія желѣза углеродомъ, происходящій при весьма высокой температурѣ. Не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что образованіе шлаковъ происходитъ при t° лежащей выше точки плавленія готоваго шлака, а также, что по мѣрѣ обуглероживанія восстано-

вленного желѣза, точка плавленія его падаетъ и достигаетъ наконецъ 1100—1200°—т. е. точки плавленія готового чугуна. Расплавленные конечные продукты (чугунъ и шлаки) стекаютъ по каплямъ внизъ и собираются въ металлоприемники.

Нижеприводимая таблица даетъ общее понятіе о распредѣленіи температуры въ доменной печи.

48	02—22	Плоскость фурмъ.	0,44	1,47	5,54	7,64	9,83	13,03	Колошникъ.
	42—2		Мѣсто надъ фурмами.						
Въ серединѣ печи .	1200°	1400°	1400°	1200°	955°	850°	680°	140°—290°	
Между серединой и стѣнкой	1500°	1500°	1300°	1000°	700°	525°	433°		
Около стѣнки . . .	1600°	1300°	1400°	1200°	900°	815°	575°		

Примѣненія побочныхъ продуктовъ доменнаго производства. О примѣненіи колошниковыхъ газовъ было уже сказано, обратимся теперь къ *шлакамъ*. На каждую единицу объема чугуна получается 2—4 объемовъ шлаковъ. Скопясь въ столь значительныхъ размѣрахъ возлѣ домны, они разумѣется занимаютъ много мѣста; увозка же ихъ стоитъ дорого. Поэтому неудивительно, что давно уже стремятся утилизировать доменные шлаки.

Шлаки примѣняются: 1) для устройства улицъ и дамбъ. Для этой цѣли употребляютъ шлаки не слишкомъ богатые известью (последніе распадаются на воздухѣ).

2) Для фабрикаціи шлакового цемента. (См. техн. растворовъ).

3) Для фабрикаціи шлаковой шерсти, употребляемой благодаря своей малой теплопроводности, для защиты паропроводовъ отъ охлажденія и т. п. Для полученія шлаковой шерсти въ вытекающую изъ домны струю расплавленного шлака вдувается струя пара.

4) Для фабрикаціи шлаковыхъ кирпичей (см. технологія искусственныхъ камней).

5) Для фабрикаціи стекла. Послѣ прибавленія соотвѣствующихъ веществъ (главнымъ образомъ SiO_2) масса сплавляется подобно обыкновенному стеклу въ стеклоплавныхъ печахъ.

Сорта чугуна и ихъ свойства.

Главнымъ образомъ различаютъ бѣлый и сѣрый чугуны.

Бѣлый чугунъ очень твердъ *) и хрупокъ, **) имѣетъ бѣлый

*) Не поддается обработкѣ напильникомъ.

**) Въ ступицѣ раздробляется въ порошокъ.

цвѣтъ; удѣльн. вѣсъ (въ среднемъ) 7,6; плавится при 1050—1100° С. Въ бѣломъ чугуѣ углеродъ находится главнымъ образомъ въ видѣ закалита (т. е. въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ). На фиг. изображена микроструктура бѣлаго чугуна (увеличеніе 1:50). Здѣсь темная штриховка обозначаетъ углеродистое желѣзо, а бѣлая—карбидъ.

Сѣрый чугунъ мягче и вязче бѣлаго, цвѣта отъ свѣтло-сѣраго до чернаго. Удѣльный вѣсъ 7,2, точка плавленія 1100—1200. Сѣрый чугунъ состоитъ главнымъ образомъ изъ феррита, съ кристаллами графита и перлита. Микроструктура его изображена на фиг. 207, гдѣ желѣзистъ обозначенъ сѣрымъ, перлитъ бѣлымъ, а графитъ черною штриховкою.

Такимъ образомъ въ бѣломъ чугуѣ углеродъ главнымъ образомъ находится въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ, а въ сѣромъ въ видѣ мелкихъ частичекъ графита, сообщающихъ излому сѣрый цвѣтъ. То или другое состояніе углерода обуславливается не относительнымъ его содержаніемъ, но условіями охлажденія расплавленного металла въ связи съ содержаніемъ нѣкоторыхъ постороннихъ примѣсей, главнымъ образомъ кремнія и марганца. Въ расплавленномъ чугуѣ весь углеродъ находится въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ. При быстромъ охлажденіи, весь углеродъ остается въ такомъ же состояніи — условіе полученія бѣлаго чугуна, а при медленномъ—большая часть углерода успѣваетъ выдѣлиться въ видѣ графита. Присутствіе кремнія содѣйствуетъ выдѣленію графита, т. е. полученію сѣраго чугуна, наоборотъ, присутствіе марганца, а также хрома затрудняетъ образованіе графита, т. е. способствуетъ полученію бѣлаго чугуна. Въ присутствіи сколько нибудь значительныхъ количествъ марганца, сѣрый чугунъ всегда содержитъ примѣсь кремнія (отъ 0,5—5%), ибо иначе выдѣленіе графита было бы невозможно. Графитъ, какъ постороннее вещество, уменьшаетъ сцепленіе частицъ металла, а потому сѣрые чугуны слабѣе бѣлыхъ (см. табл.).

Сортъ чугуна.	Плотность его.	Сопротивленіе разрыву кѣгр на кв. см.
№ 1	7,032	968
№ 2	7,153	1738
№ 3	7,230	2233

Сѣрый чугунъ жидкоплавокъ; заполняетъ всѣ мельчайшія углубленія формы и, застывая переходитъ почти мгновенно изъ жидкаго состоянія въ твердое, тогда какъ бѣлый чугунъ передъ отвердѣваніемъ приобретаетъ консистенцію тѣста, вслѣдствіе чего даетъ неудовлетвори-

тельные отливки. Затѣмъ сѣрый чугуны, какъ болѣе мягкій и вязкій допускаетъ обточку и отдѣлку напилькомъ *). Всѣ эти обстоятельства обуславливаютъ преимущественное примѣненіе сѣраго чугуна для отливокъ, это литейный чугуны, тогда какъ бѣлые чугуны идутъ почти исключительно для переработки на ковкое желѣзо — это передѣльный чугуны. Углеродъ бѣлаго чугуна, будучи въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ легче окисляется, чѣмъ графитъ сѣраго чугуна. Чѣмъ значительнѣе количество выдѣливагося графита при охлажденіи расплавленнаго чугуна, тѣмъ темнѣе его цвѣтъ и тѣмъ онъ мягче.

Сорта сѣраго чугуна. Распредѣляя чугуны по возрастающему содержанию кремнія получаемъ. (Вся масса сѣраго чугуна должна содержать въ себѣ, совместно съ углеродомъ и кремніемъ, количество котораго въ рѣдкихъ случаяхъ бываетъ менѣе 1% и въ обыкновенныхъ сортахъ сѣраго чугуна не должна превышать 4%).

1. *Свѣтло сѣрый чугуны или обыкновенный литейный.* Содержитъ 1,5—2,5% кремнія и менѣе 3,5% углерода.

2. *Темно-сѣрый чугуны* съ 1—4% кремнія около 3,5% углерода и отъ 0—5% марганца. Въ изломѣ болѣе крупнозернисты, чѣмъ предъидущій. Употребляется какъ прибавка при переплавкахъ обыкновеннаго чугуна, для возмѣщенія потери кремнія и графита, имѣющихъ мѣсто при этой операціи.

3. *Ферросилицій* или кремнистый чугуны — 5—17% кремнія тверды, хрупки, употребляется какъ примѣсь къ другимъ сортамъ, когда требуется повысить содержаніе кремнія. Содержаніе марганца не существенно.

Сорта бѣлаго чугуна (по возрастающему содержанию Mn). Бѣлый чугуны съ весьма незначительнымъ содержаніемъ марганца имѣетъ мелкозернистую плотную поверхность излома. Это обыкновенный бѣлый чугуны. При содержаніи въ немъ нѣсколькихъ процентовъ марганца на поверхности излома обнаруживаются лучеобразныя полоски (лучистый чугуны). При большемъ содержаніи марганца лучи расширяются въ полоски и въ изломѣ видно какъ бы зеркальныя, пересекающіяся поверхности (зеркальный чугуны). При содержаніи марганца выше 20% зеркальное строеніе чугуна исчезаетъ и металлъ приобретаетъ снова мелкозернистое строеніе, желтовато-бѣлаго цвѣта (ферромарганецъ).

1. *Обыкновенный бѣлый* до 1% марганца и не выше 3,5% углерода. Употребляется главнымъ образомъ для передѣлки на желѣзо и сталь и для полученія коваго чугуна.

2. *Лучистый чугуны.* Mn 1—5%; углерода 3—4%.

*) Вслѣдствіе отсутствія въ бѣломъ чугуны пластичности въ отливкахъ изъ этого чугуна легко могутъ получаться весьма значительныя внутреннія натяженія. Такія отливки легко лопаются отъ маловажныхъ причинъ.

3. *Зеркальный чугунъ*. Мп: 5—20%, углерода 4—5%. Чрезвычайно твердъ и хрупокъ, Употребляется обыкновенно при фабрикаціи литого желѣза, для удаленія поглощенного кислорода.

4. *Ферроманганъ* содержитъ отъ 30—85% Мп и 7,5—5% углерода, содержаніе кремнія не существенно.

Встрѣчаются впрочемъ и такіе сорта чугуна, въ которыхъ выдѣленіе графита не настолько значительно, чтобы онъ могъ вполнѣ прикрыть собою свѣтлую, основную массу чугуна. Подобный, сравнительно бѣдный графитомъ чугунъ, служащій какъ бы переходною ступенью отъ бѣлаго чугуна къ сѣрому, называется *половинчатымъ чугуномъ*. Смотря по преобладанію того или другого въ смѣси называютъ чугунъ третнимъ бѣлымъ, или третнимъ жесткимъ и третнимъ сѣрымъ или третнимъ мягкимъ.

Ферросилицій, ферроманганъ, феррохромъ (25 — 45% хрома и 3—7% углерода) называются спеціальными чугунами. Они самостоятельнаго примѣненія не имѣютъ, но употребляются главнымъ образомъ для измѣненія и улучшенія качествъ литого желѣза.

Строеніе и свойства литого чугуна.

Внутренняя структура, а слѣдовательно и физическія свойства чугуна не всегда одинаковы: на нихъ оказываетъ вліяніе какъ химическій составъ, такъ и болѣе или менѣе быстрое охлажденіе чугуна.

Строеніе чугуна. Чугунъ обыкновенно обладаетъ зернисто-кристаллическимъ строеніемъ съ весьма различною величиною отдѣльных „зеренъ“: отъ нѣсколькихъ миллиметровъ въ діаметрѣ до микроскопическихъ. Крупно-зернистое строеніе чугуна какъ уменьшающее его прочность, нежелательно въ чугунныхъ отливкахъ. Важно поэтому прослѣдить отъ какихъ причинъ зависитъ то или другое строеніе чугуна. Чѣмъ богаче чугунъ графитомъ и чѣмъ постепеннѣе шло его охлажденіе, тѣмъ больше получается величина зерна; а такъ какъ самое содержаніе графита зависитъ не только отъ химического состава, но и въ весьма значительной степени и отъ способа охлажденія (при медленномъ охлажденіи—оно болѣе, чѣмъ при быстромъ, то отсюда становится яснымъ:

1) что болѣе толстыя чугунныя отливки обладаютъ обыкновенно болѣе крупно-зернистымъ строеніемъ, чѣмъ тонкія, отлитыя изъ того же самаго матеріала;

2) что въ серединѣ отливокъ большаго объема, гдѣ охлажденіе происходитъ медленнѣе, получается обыкновенно строеніе болѣе крупно-зернистое, чѣмъ по краямъ;

3) что чугунъ, вылитый въ формы нагрѣтымъ до высокой температуры, въ твердомъ состояніи обладаетъ обыкновенно болѣе крупно-

зернистымъ строеніемъ, чѣмъ тотъ, который былъ нагрѣтъ лишь немного выше температуры плавленія;

4) что при каждой переплавкѣ чугуна или уже отлитыхъ издѣлій въ плавильныхъ печахъ чугунно-литейнаго завода, переплавкѣ, которая сопровождается обыкновенно уменьшеніемъ содержанія кремнія, вслѣдствіе чего также выдѣляется менѣе графита, чугунъ становится мелко-зернистымъ. Онъ могъ бы, наконецъ сдѣлаться совершенно бѣлымъ и негоднымъ къ отливкѣ предметовъ, если бы при каждой переплавкѣ его, для возмѣщенія потери кремнія, не прибавлялось извѣстное количество чугуна, богатаго кремнеіемъ.

Плотность чугуна находится отчасти въ зависимости отъ большаго или меньшаго содержанія въ немъ графита и, вообще, становится тѣмъ меньше, чѣмъ содержаніе послѣдняго значительнѣе. Также вліяетъ на удѣльный вѣсъ чугуна присутствіе въ отливкахъ внутреннихъ пустотъ и раковинъ. Въ среднемъ удѣльный вѣсъ литого чугуна равенъ 7.2; вѣсъ 1 куб. метра чугуна около 7200 кгр.

Твердость. Изъ трехъ главныхъ составныхъ частей охлажденнаго чугуна графитъ мягокъ, углеродистое желѣзо—твердо и хрупко; кремнистое желѣзо—лишь немногимъ тверже чистаго желѣза. Поэтому богатый графитомъ чугунъ (медленно охлажденный) обыкновенно мягокъ, бѣдный же графитомъ (быстро охлажденный) — твердъ. Чѣмъ тверже металлъ, тѣмъ выше его сопротивляемость механическимъ усиліямъ, но тѣмъ онъ также и болѣе хрупокъ и ломокъ и труднѣе обрабатывается рѣзущими инструментами.

Механическія свойства чугуна.

Сопротивленіе чугуна разрыву, изгибу, сжатію и т. д. зависитъ: 1) отъ химическаго состава чугуна, 2) отъ внутренней структуры. Последняя же, какъ намъ уже извѣстно, зависитъ частью отъ условій охлажденія, частью отъ химическаго состава. По Ледебуру „вообще болѣею прочностью отличаются тѣ сорта чугуна, въ которыхъ содержатся весьма незначительныя количества постороннихъ тѣлъ, не нужныхъ для образованія чугуна“. Какъ извѣстно, для образованія чугуна необходимо: желѣзо, углеродъ и кремній. Самые прочные сорта чугуна содержатъ обыкновенно отъ 3 — $3\frac{1}{2}$ углерода. Содержаніе кремнія не должно выходить изъ предѣловъ отъ 1—2%; большой излишекъ скорѣе уменьшаетъ прочность, чѣмъ увеличиваетъ ее. Что касается до вліянія содержанія постороннихъ примѣсей на прочность чугуна, то можно замѣтить, это незначительныя количества нѣкоторыхъ постороннихъ тѣлъ могутъ вызвать увеличеніе прочности: марганецъ до 1%; мѣдь до 0,3%; кобальтъ и никель до 0,1%. Но при увеличеніи ихъ содержанія весьма скоро наступаетъ предѣлъ, за которымъ прочность чугуна уже быстро уменьшается. Такъ какъ между отдѣльными соприкасающимися гранями

кристалловъ сила сцѣплѣнія весьма незначительна, то ясно, что крупно-зернистое строеніе уменьшаетъ степень прочности чугуна.

Коэффициентъ упругости чугуна около 600.000, т. е. вдвое, а иногда и втрое меньше чѣмъ желѣза и стали, а поэтому тамъ, гдѣ требуется по возможности малое измѣненіе формы, нужно примѣнять не чугунъ, а желѣзо и сталь (Кирпичевъ).

Сопротивленіе чугуна разрыву заключается въ предѣлахъ отъ 600—2200 кил. на кв. см.; въ обыкновенныхъ сортахъ отъ 9—18 кгр. на кв. мм. Такъ какъ графитъ, какъ постороннее вещество, уменьшаетъ сцѣплѣніе частицъ металла, то сѣрые чугуны обыкновенно слабѣе бѣлыхъ.

СОРТЪ ЧУГУНА.	Плотность его.	Сопротивле- ніе разрыву.	Примѣчаніе.
		Кгр. на кв. сант.	
Темно-сѣрый чугунъ	7,032	968	Въ силу согла- шенія нѣмец- кихъ желѣзо- заводчиковъ, сопротивленіе растяженію чу- гуна (необрабо- таннаго) должно быть минимумъ 12 кгр. на кв.мм.
Свѣтло-сѣрый „	7,153	1738	
Бѣлый чугунъ	7,230	2233	

Но сѣрый чугунъ болѣе пластиченъ, лучше отливается, а поэтому чаще употребляется въ машиностроеніи и въ строительномъ дѣлѣ. Хруп-
кость чугуна несомнѣнно опасное свойство въ тѣхъ случаяхъ, когда
чугунныя части, подвергаются неожиданнымъ толчкамъ или сотрясе-
ніямъ. Въ то время, какъ менѣе хрупкій матеріалъ въ мѣстѣ такого
воздѣйствія поддается, т. е. измѣняетъ свою форму и вслѣдствіе этого
ослабляется эффектъ толчка, чугунный предметъ легко разбивается.
Вотъ почему въ послѣдніе десятилѣтіе стали замѣнять чугунъ при по-
стройкахъ мостовъ и др. козкимъ желѣзомъ.

Вообще можно принять, что всѣ постороннія тѣла увеличиваютъ
хрупкость чугуна, хотя вліянія ихъ и не одинаковы. Химически свя-
занный съ желѣзомъ углеродъ дѣлаетъ чугунъ въ высшей степени хруп-
кимъ (бѣлый чугунъ). Значительно слабѣе вліяніе кремнія: содержаніе
2—2,5% кремнія оказываетъ менѣе вредное вліяніе, чѣмъ содержаніе
химически связаннаго углерода въ количествѣ около 1%. Содержаніе
марганца выше 1% влечетъ за собою также ясное увеличеніе хруп-
кости. Фосфоръ — наиболѣе опасный врагъ пластичности, какъ чугуна,
такъ и ковкаго желѣза. Лучшіе сорта чугуна содержатъ менѣе 0,3%
фосфора, хотя въ большей части чугунныхъ издѣлій содержаніе фос-
фора колеблется въ предѣлахъ отъ 0,5—1%. При содержаніи фосфора
выше 1%, хрупкость однако настолько увеличивается, что изготовленіе
изъ подобнаго чугуна литыхъ издѣлій становится совершенно недопу-
стимымъ.

Сопротивленіе чугуна изгибу. Въ силу соглашенія нѣмецкихъ желѣзо-заводчиковъ, архитекторовъ и инженеровъ, сопротивленіе изгибу должно быть таково, чтобы необработанный стержень (квадратнаго сѣченія: 30 мм. въ сторонѣ квадрата), со свободно висящимъ концомъ, длиною въ 1 метръ, могъ бы выдержать, не ломаясь, помѣщенную по серединѣ его нагрузку, постепенно увеличивающуюся до 450 кгр. Такая предѣльная нагрузка даетъ сопротивленіе изгибу въ 2500 кгр. на кв. мм. Слѣдуетъ впрочемъ замѣтить, на основаніи опытовъ Баха, что сопротивленіе изгибу въ отливкахъ изъ одного и того же сорта чугуна, значительно измѣняется въ зависимости отъ формы поперечнаго сѣченія. Длина испытываемаго стержня также оказываетъ вліяніе на его прочность. Почти всегда болѣе короткіе стержни выдерживаютъ большую нагрузку, чѣмъ болѣе длинныя. Въ среднемъ на основаніи многочисленныхъ опытовъ можно принять, что сопротивленіе чугуна разрыву колеблется отъ 6—22 кгр. на кв. мм.; въ обыкновенныхъ сортахъ отъ 9—18 кгр. Сопротивленіе же изгибу квадратнаго стержня—отъ 10—50 кгр. Отношеніе сопротивленія изгиба къ сопротивленію разрыва одного и того же металла—1,73 (при квадратномъ сѣченіи).

Сопротивленіе раздробленію. Въ отличіе отъ желѣза и стали, чугунъ значительно лучше сопротивляется раздробленію, чѣмъ разрыву: сопротивленіе раздробленію отъ 4 до 8 разъ болѣе сопротивленія разрыву. По произведеннымъ опытамъ сопротивленіе чугуна сжатію колеблется между 3900—11200 кгр. на кв. см.; въ среднемъ можно принять максимумъ 7000 кгр. Слѣдуетъ также замѣтить, что чѣмъ выше испытываемый предметъ, тѣмъ меньше его сопротивленіе сжатію. При испытаніяхъ прочности чугуна далеко не безразлично, подвергають ли отлитыя предметы испытанію съ ихъ корой, или же эта кора предварительно удалена механической обработкой. По Баху прочность обработанныхъ чугуновыхъ отливокъ на 11—20% болѣе, чѣмъ необработанныхъ. Чугунъ поэтому слѣдуетъ примѣнять главнымъ образомъ тамъ, гдѣ нужно выдерживать сжимающія или изгибающія усилія; но не для сопротивленія растяженію и крученію.

Не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что чугуныя отливки весьма часто содержатъ раковины и пустоты, ослабляющія ихъ сопротивленіе; при испытаніи брусковъ чугуна, отлитыхъ совершенно одинаковымъ образомъ, получается часто огромная разница въ ихъ сопротивленіяхъ. Никакимъ образомъ нельзя быть вполне увѣреннымъ, что еще не обработанная отливка совершенно не имѣетъ пустотъ. Вообще чугунъ—матеріалъ ненадежный и поэтому проф. Кирпичевъ совѣтуетъ при расчетѣ прочныхъ размѣровъ чугуновыхъ частей, допускать большіе запасы прочности, чѣмъ для другихъ металловъ, а именно назначать шестерной запасъ прочности, тамъ гдѣ для желѣза довольствуются четвернымъ (см. Сопротивленіе матеріаловъ В. Л. Кирпичева). Сопротивленіе сѣраго чугуна, какъ показали опыты увеличивается его переплавкою. Закали-

ваніе чугуна въ маслѣ увеличиваетъ сопротивление разрыву, не измѣняя пластичности.

	До закалки.	Послѣ закалки.
T _г	2223 к.	3015
A _г	0,5	0,5

Отбѣливаніе чугуна.

Отбѣливаніе чугуна состоитъ въ превращеніи сѣраго чугуна въ бѣлый и можетъ быть произведено путемъ окислительной плавки сѣраго чугуна въ отражательной печи, либо путемъ послѣдовательныхъ переплавокъ сѣраго чугуна. При окислительной плавкѣ выгораютъ кремній, способствующій удержанію углерода въ формѣ графита, и углеродъ при охлажденіи переходитъ въ закалить. Приѣмъ этотъ въ прежнее время часто примѣняли для полученія очень твердаго матеріала для пушекъ, а также для превращенія сѣраго чугуна въ бѣлый, необходимый для кричного процесса. Но такъ какъ полученіе бѣлаго, бѣднаго кремніемъ чугуна непосредственно путемъ доменной плавки обходится дешевле, чѣмъ полученіе сначала сѣраго, а затѣмъ превращеніе послѣдняго въ бѣлый, то процессъ отбѣливанія въ настоящее время примѣняется весьма рѣдко и лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда непосредственное полученіе бѣлаго чугуна изъ рудъ затруднительно благодаря свойствамъ послѣднихъ. Какъ было уже сказано, отбѣливаніе чугуна можетъ быть произведено также путемъ послѣдовательныхъ переплавокъ. При этомъ послѣдовательно растутъ также плотность, твердость и сопротивление чугуна разрыву, что наглядно видно изъ приведенной таблицы.

Которой плавки.	Плотность.	T _г к. на кв. с.	Твердость.
Первоначальный чугунъ . .	7,032	968	8,48
2-й плавки	7,086	1366	12,16
3-й „	7,189	1927	19,66
4-й „	7,301	2330	29,52

Закаливаніе чугуна.

Иногда является нужнымъ придать поверхностнымъ слоямъ чугунныхъ отливокъ значительную твердость, т. е. превратить ихъ въ бѣ-

мый чугуны. Съ этою цѣлью часть формы, прилегающей къ закаливаемой поверхности (напр. къ ободу вагонныхъ колесъ) дѣлають металлическою. Вслѣдствіе быстрого охлажденія, графитъ въ этихъ мѣстахъ не успѣетъ выдѣлиться, внутренняя же часть предмета остается со свойствами мягкаго чугуна. Такой снаружи отбѣленный чугунъ называется *закаленноюцею*. Сопротивленіе раздробленію закаленного чугуна доходить до 12.000 кгр. на кв. см., но онъ весьма хрупокъ, поэтому интересны опыты, произведенные одной французской литейной, по которымъ оказалось, что закаливаніе чугуна въ маслѣ, увеличивая сопротивление чугуна разрыву, не измѣняетъ однако его пластичности.

До закалки чугуны имѣетъ слѣдующія механическія свойства:

$$T_r = 2223 \text{ к.}, A_r = 0,47\%.$$

Послѣ закалки:

$$T_r = 3015 \text{ к.}, A_r = 0,5$$

Предѣлъ упругости закаленного чугуна оказался 1300 к.

Ковкій чугунъ.

Какъ намъ извѣстно, чугуны не обладаютъ ковкостью, т. е. способностью въ нагрѣтомъ состояніи измѣнять свою форму подъ ударами молота. Нѣкоторую ковкость можно однако придать чугуну, а также уменьшить его хрупкость, если его продолжительное время нагрѣвать въ закрытыхъ печахъ, при температурѣ не доходящей до плавленія, осыпавъ его предварительно со всѣхъ сторонъ веществомъ богатымъ кислородомъ и не дѣйствующимъ на желѣзо (беруть обыкновенно для этой цѣли гематитъ, т. е. красную желѣзную руду). При этой операциіи часть углерода стораецъ на счетъ кислорода руды, т. е. чугуны т. с. ожелѣзиваются. Такъ какъ подобному окисленію легко поддается лишь химически связанный углеродъ, а графитъ измѣняется съ трудомъ, то для полученія ковкаго чугуна примѣняютъ обыкновенно бѣлый чугуны, а не сѣрый. Механическія свойства ковкаго чугуна иллюстрируются слѣдующими цифрами, доказывающими, что ковкій чугуны лучше обыкновеннаго, но значительно уступаетъ по механическимъ свойствамъ желѣзу. По опытамъ Мартенса для ковкаго чугуна:

$$T_r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2460 \quad \text{кгр. на кв. см.}$$

$$A_r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2,5\% \quad " \quad " \quad " \quad "$$

Производство ковкаго чугуна было вызвано соображеніемъ, что легче получать издѣлія сложной формы отливкой и затѣмъ предать ему свойство ковкаго желѣза, чѣмъ непосредственно получать желѣзное издѣліе путемъ дорого стоящей и трудной отковки. Но въ настоящее время въ виду сильнаго распространенія фасонныхъ стальныхъ отли-

вокъ, издѣлія изъ ковкаго чугуна почти потеряли свое значеніе. Изъ ковкаго чугуна изготовляютъ части плуговъ, жней, части дверныхъ и оконныхъ приборовъ, ружейные замки, ножи, ножницы и др. мелкіе предметы.

Способы формовки чугуна.

Чтобы придать чугуну опредѣленные очертанія, необходимо его предварительно расплавить и затѣмъ вылить въ соответствующую форму. Для этой цѣли, какъ было уже сказано, употребляется преимущественно сѣрый чугуны. Для переплавки чугуна обыкновенно служатъ невысокіе цилиндрическія шахтные печи съ дутьемъ, такъ наз. „вагранки“ и значительно рѣже отражательныя печи и тигли.

Переплавка чугуна въ тигляхъ. Графитные тигли (приготовленные изъ смѣси графита, огнеупорной глины и измельченныхъ старыхъ тиглей) наполняютъ плотно измельченнымъ въ небольшіе куски чугуномъ и нагрѣваютъ въ такъ наз. самодувномъ горнѣ (т. е. работающемъ безъ вентилятора, помощью дымовой трубы). Этотъ горнъ или „волчекъ“ изображенъ на фиг. 208 и устраивается на одинъ или нѣсколько (до 9) тиглей. Топливомъ служитъ коксъ. Тигли ставятся на глиняной плитѣ, въ свою очередь расположенной на колосникахъ.

Переплавка чугуна въ пламенныхъ или отражательныхъ печахъ. На фиг. 209 изображена подобная печь. Топливомъ обыкновенно служитъ каменный уголь, дающій длинное пламя, которое отражаясь отъ свода печи, расплавляетъ чугуны. Подъ сложенъ изъ огнеупорнаго матеріала на подобіе ванны съ углубленіемъ, въ которомъ собирается расплавленный чугуны и изъ котораго онъ затѣмъ можетъ быть удобно выпущенъ. На каждые 1000 кгр. переплавляемаго чугуна должно приходится 0,5—1,0 кв. метр. площади пода.

Переплавка чугуна въ вагранкахъ. На фиг. 210 изображена вагранка, системы Кригера, наиболѣе распространенная. Она состоитъ изъ шахты А, сложенной изъ огнеупорнаго матеріала; шахта имѣетъ форму цилиндра, обтянутаго желѣзнымъ кожухомъ. Помощью вентиляторовъ Рута или Бекера вдуваетъ въ кольцеобразный каналъ С воздухъ подъ давленіемъ 0,05 кгр. на кв. см. Изъ этого канала воздухъ затѣмъ попадаетъ въ горнъ двумя нисходящими каналами ff. В — отдѣльный металлопріемникъ или „передній“ горнъ; k—отверстіе для наблюденія за ходомъ плавки; e—очко для выпуска шлаковъ, а n—очко для выпуска чугуна. Для прочистки вагранки служитъ откидное дно d. На каждые 100 кгр. расплавляемаго въ часъ чугуна должно приходится отъ 70—100 кв. см. поперечнаго сѣченія шахты, а высота шахты на то же количество должно быть отъ 2,5—4,5 м. (Юптнеръ). Вагранка средней величины переплавляетъ въ часъ отъ 4—6 тоннъ чугуна. Горячее дутье при переплавкахъ чугуна въ вагранкахъ, какъ содѣй-

ствующее образованію окиси углерода можетъ принести болѣе вреда чѣмъ пользы. Тогда какъ въ домнахъ мы стремились вести сжиганіи топлива такимъ образомъ, чтобы передъ фурмами превратить по возможности весь углеродъ въ окись углерода—необходимый агентъ для возстановленія окисловъ желѣза, въ вагранкахъ мы должны стремиться къ полному окисленію углерода передъ фурмами, т. е. къ полученію изъ угля углекислоты, а не СО.

Работу въ вагранкахъ ведутъ слѣдующимъ образомъ. Сначала въ нижней части вагранки зажигаютъ дрова и коксъ, а когда послѣдній разгорится начинаютъ сверху задавать поочередно чугуны и коксъ, иногда съ прибавкою известняка для ошлакованія золы кокса. Въ это же время пускаютъ въ ходъ вентиляторъ. Самое выгодное топливо для вагранокъ есть коксъ, ибо онъ труднѣе древеснаго угля возстановляетъ угольный ангидридъ въ окись углерода. Поэтому древеснаго угля расходуетъ вдвое и втрое больше кокса на одно и тоже количество переплавляемаго чугуна.

Сравненіе различныхъ способовъ переплавки чугуна. Наиболѣе употребительный способъ—это переплавка въ вагранкахъ какъ наиболѣе экономичный въ смыслѣ расхода топлива. На 1000 ч. чугуна требуется:

При вагранкахъ.	Въ пламенныхъ печахъ.	Въ тигляхъ.
70—150 ч. кокса.	500—700 ч. угля.	1000 ч. кокса

Кромѣ того въ вагранкахъ возможно по мѣрѣ надобности переплавлять заразъ большія или меньшія количества чугуна. Пламенные печи и тигли употребляются лишь въ исключительныхъ случаяхъ. Первые, когда желаютъ измѣнить составъ переплавляемаго чугуна (подъ вліяніемъ кислородныхъ газовъ, часть кремнія и марганецъ окисляются и переходятъ въ шлаки ранѣе углерода чугуна), а вторые, когда заразъ приходится переплавлять незначительные количества чугуна и когда желаютъ, чтобы составъ послѣдняго не подвергался значительнымъ измѣненіямъ. Составъ чугуна перетерпѣваетъ измѣненіи и при плавкѣ въ вагранкахъ, но въ меньшей степени, чѣмъ при примѣненіи отражательныхъ печей. Нижеприведенныя числа показываютъ потерю чугуна (угаръ) при переплавкахъ въ различныхъ аппаратахъ.

При тигляхъ.	Вагранкахъ.	Пламен. печахъ.
Угаръ въ % всѣа чугуна . 2%	3—6%	5—8%

Расходъ топлива на вторичную переплавку, а также и „угаръ“ чугуна, разумѣется, устраняются при отливкахъ чугуна непосредственно изъ домны, но способъ этотъ примѣняется сравнительно рѣдко. При переплавкахъ, напр. въ вагранкахъ легко получить матеріалъ желаемыхъ качествъ смѣшеніемъ различныхъ сортовъ чугуна и кромѣ того возможно производить отливки въ желаемыхъ размѣрахъ и независимо отъ мѣста нахожденія домны.

Отливка чугуна. Чтобы отлить из расплавленного чугуна издѣліе, необходимо приготовить форму, внутренняя поверхность которой точно соотвѣтствовала бы очертаніямъ отливаемого предмета. Формы дѣлаются по моделямъ, обыкновенно деревяннымъ, покрытымъ лакомъ для предохраненія отъ сырости. Такъ какъ чугунъ при остываніи имѣетъ свойство уменьшаться въ объемѣ (усадка), то модели должны дѣлаться соотвѣтственно болѣе издѣлія. Принимаютъ, что линейная, *усадка* чугуна $= 1/96$. Матеріаломъ для формъ обыкновенно служитъ влажный песокъ, иногда и глина, а въ исключительныхъ случаяхъ металлъ. Примѣняемая глина и песокъ должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: обладать достаточною для формовки пластичностью; не сплавляться подъ вліяніемъ расплавленного чугуна; обладать достаточною крѣпостью и въ то же время достаточною пористостью для газовъ и паровъ.

Тонкій формовый песокъ, состоящій изъ кварцевыхъ зеренъ измельчаютъ подъ бѣгунами, просѣиваютъ и для увеличенія пластичности и пористости смѣшиваютъ съ нѣкоторымъ количествомъ порошка кокса или древеснаго угля. Жирный формовой песокъ представляетъ собою смѣсь песка съ глиною (8—12%). Формы изъ этого песка, какъ способны сохранять тонкія очертанія и достаточно крѣпкія, употребляются для отливки болѣе сложныхъ предметовъ. Наконецъ формовая глина есть смѣсь глины съ шамотомъ или съ пескомъ (въ качествѣ веществъ уменьшающихъ усадку глины) и съ рубленною соломой, волосомъ и т. п. органическими веществами. Сгорая при обжигѣ формы и превращаясь въ газы, органическія вещества увеличиваютъ пористость стѣнокъ формы, столь полезную для выхода паровъ и газовъ. Наконецъ, какъ мы уже видѣли, формы изъ чугуна (изложницы) примѣняются къ издѣліямъ, поверхность которыхъ должна быть отбѣлена; а также когда приходится отливать за разъ много однородныхъ предметовъ, напр. ядра. Если сообщаемое при отливкѣ въ металлической формѣ „отбѣливаніе“ является не желательнымъ, то предметъ послѣ отливки вновь сильно нагрѣваютъ и затѣмъ медленно охлаждаютъ (отпусканіе). Если отливаемый предметъ долженъ имѣть внутри полость, то для образованія ея формуютъ сердечникъ, называемый при небольшихъ размѣрахъ шишкою. Для наливаемаго же металла въ форму, въ послѣдней оставляется одинъ или нѣсколько каналовъ (литники). Для наиболѣе простыхъ издѣлій, напр. кухонныхъ плитъ и т. п., ограниченныхъ съ одной стороны плоскостью, модель прямо вдавливается одною стороною въ формовочный песокъ или землю, плотно утрамбованныхъ на полу литейной это способъ формовки въ „почвѣ“. Для болѣе сложныхъ издѣлій дѣлаютъ форму разъемною, причемъ каждая ея часть состоитъ изъ формовой земли набитой въ деревянный или чугунный бездонные ящики, назыв. *опокою*. Наконецъ болѣе крупныя и сложные предметы формируются помощью шаблоновъ отъ руки.

Самую отливку производятъ слѣдующимъ образомъ. Изъ горна вагранки спускаютъ жидкій чугуны по обмазанному глиною желобу или прямо въ формы, или же онъ раньше поступаетъ въ особые приемники, смотря по величинѣ называющіеся ложками, ковшами и котлами. Приемники эти изготовляются изъ желѣза, и котлы и ковши обмазываются внутри глиною. Котлы большихъ размѣровъ передвигаются помощью крановъ. Отлитая вещь послѣ медленнаго охлажденія, вынимается изъ формы (для чего предварительно отрубается литники) и подвергается затѣмъ механической обработкѣ, состоящей въ срубкѣ швовъ, происшедшихъ отъ стоковъ формы, очисткѣ отъ приставаго къ поверхности песка проволоочными щетками и т. п.

Пороки чугунныхъ отливокъ. Главный недостатокъ чугунныхъ отливокъ—это внутреннія пустоты или раковины. Онѣ могутъ образоваться или отъ невыдѣлившихъ изъ чугуна газовъ или же отъ неравномѣрной его усадки. Чтобы избѣжать образованія раковинъ перваго рода, чугуны передъ отливкой даютъ нѣсколько времени выстояться въ ковшѣ или въ другихъ приемникахъ, для выдѣленія растворенныхъ газовъ, а также для всплыванія шлаковъ. Раковины второго рода, такъ наз. усадочныя образуются вслѣдствіе неравномѣрнаго охлажденія различныхъ частей отлитого предмета. Тонкія части, разумѣется, остываютъ быстрѣе болѣе массивныхъ, а послѣднія—скорѣе съ поверхности, чѣмъ внутри. При этомъ металлъ стягивается къ ранѣ застывшимъ частямъ, вслѣдствіе чего внутри предмета могутъ получаться пустоты. Для устраненія этого явленія литникамъ слѣдуетъ придавать столь значительные размѣры, дабы металлъ въ нихъ не скоро застывалъ, но могъ подаваться внутрь формы, по мѣрѣ усадки въ ней чугуна. Затѣмъ при самомъ проэктированіи чугунныхъ отливокъ необходимо стараться, чтобы толщина различныхъ частей не измѣнялась въ очень широкихъ размѣрахъ. Въ противномъ случаѣ могутъ также возникнуть опасныя внутреннія напряженія, ибо части ранѣ застывшія будутъ въ этомъ случаѣ препятствовать усадкѣ остальныхъ.

Общія правила для испытанія чугунныхъ издѣлій.

Характеръ испытаній находится въ зависимости отъ спеціальнаго назначенія предмета. Слѣдуетъ впрочемъ замѣтить, что механическія испытанія крѣпости и другихъ свойствъ не всегда возможны въ готовыхъ чугунныхъ издѣліяхъ, а поэтому во многихъ случаяхъ приходится ограничиться тщательнымъ наружнымъ осмотромъ. Весьма часто литейные мастера замазываютъ замазкой или заливаютъ легкоплавкимъ металломъ усадочныя и иныя раковины или пустоты. Это обстоятельство не слѣдуетъ упускать при осмотрѣ чугунныхъ отливокъ. При ответственнѣйшихъ отливкахъ, впрочемъ, можно требовать пробныя бруски изъ того же самаго матеріала и затѣмъ подвергать ихъ обычнымъ испытаніямъ.

ніямъ на разрывъ и изгибъ. Никогда, однако, при этомъ сравненіи не слѣдуетъ говорить проф. Ледебуръ, упускать изъ виду факта, что одинъ и тотъ же чугуны, отлитый въ предметы съ различнымъ поперечнымъ сѣченіемъ, можетъ обладать различною степенью прочности; стержень толщиной въ 30 мм., будетъ въ большинствѣ случаевъ показывать болѣшую прочность (на 1 кв. мм.), чѣмъ отлитый изъ того же самого матеріала предметъ, толщиной въ 200 или 300 мм. Также заслуживаетъ разсмотрѣнія вліяніе, оказываемое обработкой (Ледебуръ „Желѣзо и сталь“ переводъ Краснова). При пріемкѣ полыхъ чугунныхъ колоннъ, предназначенныхъ для опоръ, необходимо убѣдиться, имѣютъ ли стѣнки ихъ вездѣ одинаковую толщину. Въ сомнительныхъ случаяхъ въ различныхъ мѣстахъ по длинѣ колоннъ просверливаютъ тонкія дырочки небольшимъ буровомъ и измѣряютъ толщину ея проволокой. По правиламъ о-ва нѣмецкихъ желѣзо-заводчиковъ, разница въ толщинѣ стѣнокъ для колоннъ до 0,4 метра внѣшняго діаметра и до 4 метр. длины не должна превосходить 5 мм. Для колоннъ, большихъ размѣровъ, допускаемая разница на каждыя 10 см. діаметра и 1 метръ длины увеличивается не болѣе, какъ на $1\frac{1}{2}$ мм. Толщина же стѣнокъ ни въ коемъ случаѣ не должна быть менѣе 10 мм. Водопроводныя, газо и паропроводныя трубы подвергаются обыкновенно испытанію на извѣстное давленіе въ самой литейной мастерской помощью гидравлическаго пресса (газовыя трубы—воздушнымъ насосомъ подъ водою). Водопроводныя трубы подвергаются испытанію при 6—7 атм. давленія. По правиламъ Министерства Путей Сообщенія, чугуны для опорныхъ частей верхняго строенія мостовъ долженъ быть лучшаго достоинства, второго литья, мягкій, легко обрабатываемый зубиломъ и сверломъ и представлять изломъ мелкозернистый, однородный, безъ малѣйшихъ раковинъ, пузырей и т. п. Ударъ молоткомъ о край чугуна долженъ оставлять впечатлѣніе, причемъ однако, не долженъ крошиться. При пробѣ на разрывъ, чугуны должны выдерживать не менѣе 10 кгр. на кв. мил., причемъ испытанія производятся надъ образцами круглаго сѣченія діаметромъ въ 20 мм. и длиною между кернами 200 мм.

Ковкое желѣзо.

Полученіе изъ чугуна ковкаго желѣза.

Мы уже знаемъ, что для полученія изъ чугуна желѣза или стали, необходимо въ немъ уменьшить % содержаніе углерода. Это уменьшеніе можетъ быть произведено путемъ окисленія кислородомъ воздуха или при весьма возвышенной t° , при которой и само желѣзо настолько жидко, что его возможно выливать въ формы или 2) при температурѣ, которая выше точки плавленія чугуна, но ниже точки плавленія получаемого желѣза, которое въ этомъ случаѣ получается въ видѣ тѣстооб-

разной массы, уплотняемой затѣмъ помощью послѣдующей механической обработки. Послѣдняя манипуляція называется свариваніемъ желѣза, а само желѣзо или сталь, получаемая по этому способу, — сварочными, въ отличіе отъ получаемыхъ по первому способу: литого желѣза и литой стали. Такимъ образомъ различаютъ сварочный и литой способъ получения ковкаго желѣза и сварочную сталь и сварочное желѣзо въ отличіе отъ литой стали и литого желѣза. Изъ этихъ способовъ болѣе старѣйшій — сварочный, который исключительно примѣнялся до середины 17 столѣтія для получения различныхъ сортовъ ковкаго желѣза. Появленіе литого металла стало возможно лишь съ 1855—1856 г., когда Бессемеръ, а затѣмъ Мартенсъ и Сименсъ научили получать дешевымъ и удобнымъ способомъ высокія температуры, необходимыя для превращенія желѣза въ жидкое состояніе.

Литой металлъ получается въ жидкомъ состояніи и благодаря этому обстоятельству шлаки, какъ обладающіе меньшимъ сравнительно съ желѣзомъ удѣльнымъ вѣсомъ всплываютъ на поверхность расплавленнаго металла и могутъ быть затѣмъ безъ затрудненія удалены. Литой металлъ поэтому почти не содержитъ примѣси шлаковъ, чѣмъ существеннымъ образомъ отличается отъ сварочнаго. Правда и въ послѣднемъ дальнѣйшая обработка, проковка и прокатка, между прочимъ способствуетъ выдавливанію шлаковъ, но часть ихъ все же остается. При вытягиваніи металла въ полосы и листы, запутавшіеся шлаки тоже вытягиваются и принимаютъ форму нитей, образуя родъ сѣтки или скелета въ массѣ металла. Хотя содержаніе шлаковъ въ сварочномъ желѣзѣ не очень велико (отъ 0,5—2,5%), но непосредственные опыты доказали, что ихъ присутствіе обуславливаетъ существенное различіе въ свойствахъ металловъ сварочныхъ и литыхъ. Кромѣ этого на различіе въ свойствахъ оказываетъ несомнѣнно вліяніе и болѣе высокая температура получения литого желѣза. Это различіе въ строеніи и свойствахъ литого и сварочнаго металла, не слѣдуетъ упускать изъ вниманія при примѣненіи ихъ для цѣлей строительства.

Для получения сварочнаго желѣза примѣняютъ „кричный“ и „пудлинговый“ способы.

КРИЧНЫЙ СПОСОБЪ.

Кричный способъ болѣе старѣйшій, происходитъ въ такъ наз. кричныхъ горнахъ (фиг. 211). Это небольшіе горны, обложенные чугунными плитами. Передняя плита а наклонна, а въ задней продѣлано отверстіе, въ которое входитъ сопло воздушной трубы. Воздухъ вдувается помощью мѣховъ или машины. Въ дни горна дѣлается отверстіе для выпуска шлаковъ, а подовая плита охлаждается снизу водою. С — козпакъ, накрывающій горнъ и направляющій газы въ трубу. Работу въ кричномъ горнѣ ведутъ слѣдующимъ образомъ. Раскаливъ горнъ,

наполняютъ его древеснымъ углемъ и впускаютъ въ ходъ мѣха. Чугунный брусъ кладутъ на наклонную плиту аб такимъ образомъ, чтобы струя вдуваемого воздуха ударила въ его расплавляющійся конецъ. По мѣрѣ того, какъ конецъ бруска плавится, рабочій подвигаетъ его все далѣе. Капли чугуна, приходя въ соприкосновеніе съ вдуваемымъ воздухомъ окисляются: часть углерода, кремнія и марганца выгораетъ. Если чугунъ имѣется не въ видѣ брусковъ, но въ видѣ мелочи, то послѣднюю прямо укладываютъ на раскаленный древесный уголь и затѣмъ покрываютъ слоемъ угля же. Второй періодъ работы будетъ состоять въ перемѣшиваніи металла желѣзнымъ ломомъ. При этомъ процессъ окисленія будетъ совершаться уже за счетъ кислорода окиси, содержащейся въ шлакахъ; масса по мѣрѣ разуглероживанія болѣе и болѣе густѣетъ; сгустки металла прилипающіе къ лому образуютъ цѣлый комъ, состоящій изъ смѣси желѣза и шлака. Комъ этотъ называется крицею. Когда крица получилась надлежащихъ размѣровъ, ее проковываютъ подъ молотомъ или прокатываютъ между вальцами. При этихъ операціяхъ металлъ сваривается (уплотняется) и большая часть шлаковъ выдавливается.

Здѣсь описанъ одинъ изъ многихъ способовъ работы въ кричномъ горнѣ, извѣстный подъ названіемъ *однократнаго переплавленія*. Онъ примѣняется въ случаѣ чугуна бѣднаго кремніемъ и марганцемъ для полученія стали. При переработкѣ, напр. сѣраго чугуна на желѣзо, металлъ плавятъ 3 раза. Послѣ первой плавки сѣрый чугунъ обращается въ бѣлый; во время второй плавки бѣлый чугунъ обращается въ сталь и, наконецъ, послѣ 3 плавки—въ мягкое желѣзо. Первая операція называется „*отбѣливаніемъ*“, вторая „*сырымъ фришваніемъ*“, а послѣдняя—„*спѣлымъ фришваніемъ*“.

Кричный способъ даетъ сварочное желѣзо высокихъ качествъ, обладающее значительною вязкостью и небольшимъ содержаніемъ шлаковъ, но имѣетъ существенные недостатки: 1) незначительный размѣръ производства: за одинъ разъ обрабатывается всего 6—10 пуд. металла; 2) большой расходъ топлива: на одну часть желѣза расходуютъ отъ 0,8—1,0 ч. угля; требуется чугунъ, не содержащій фосфора и 5) требуется въ качествѣ топлива дорогой древесный уголь, ибо при кричномъ способѣ металлъ непосредственно соприкасается съ твердымъ горючимъ, а поэтому коксъ содержащій всегда извѣстный % сѣры употреблять нельзя. Всѣ эти обстоятельства обусловили почти полное вытѣсненіе кричного способа *)—способомъ *пудлингованія*, при которомъ заразъ получаютъ значительныя количества металла и возможно поль-

*) Полученіе кричного желѣза въ настоящее время сосредоточено главнымъ образомъ въ Швеціи; несмотря на значительную стоимость, кричное желѣзо и теперь примѣняется при производствѣ тонкихъ листовъ, проволоки, гвоздей, подковъ и т. п.

зоваться различными сортами топлива, ибо здѣсь топливо сгораетъ на отдѣльной рѣшеткѣ и въ соприкосновеніе съ расплавленнымъ чугуномъ приходятъ лишь горячіе продукты горѣнія. Способъ пудлингованія изобрѣтенъ въ XVIII столѣтіи англичаниномъ Кортонъ.

ПУДЛИНГОВЫЙ СПОСОБЪ.

Пудлинговая печь изображена на фиг. 212. Здѣсь *f*—рѣшетка на которой сгораетъ топливо. Отсюда продукты горѣнія протягиваются трубою и боровомъ *m* черезъ порогъ *s* (защищающій чугунъ отъ непосредственнаго соприкосновенія съ топливомъ) поверхъ рабочаго пространства печи. Отдѣленіе это состоитъ изъ покрытой сводомъ сквороды *a*, составленной изъ чугунныхъ плитъ, поддерживаемыхъ балками *C* и рельсами *e*; для охлажденія стѣнокъ служатъ каналы *bb*, въ которыхъ циркулируетъ холодный воздухъ, *k*—рабочее окно, служащее для нагрузки и выгрузки печи. Въ дверцахъ этого окна находится отверстіе *m*, служащее для наблюденія за ходомъ плавки и для введенія кочерги во время пудлингованія. Первая пудлинговая печь была предложена въ 1784 году Кортонъ, но она не получила примѣненія, ибо подъ ея состоялъ изъ кремнеземистаго матеріала, препятствовавшего образованію шлаковъ, богатыхъ окисью желѣза, вслѣдствіе чего и фришование шло въ этой печи весьма медленно. Существеннымъ улучшеніемъ слѣдуетъ считать устройство пода изъ желѣзныхъ плитъ (1818 г. Rodess) и снабженіе этого желѣзнаго пода футеровкою изъ матеріала богатаго окисью желѣза (Hall), чѣмъ значительно ускоряется процессъ окисленія. Топливомъ при способѣ пудлингованія чаще всего служить каменный уголь, хотя пользуются также и торфомъ, дровами и газовымъ топливомъ. Хотя работы въ пудлинговой печи, напоминая ходъ работы въ кричномъ горнѣ, также какъ и въ послѣднемъ зависятъ отъ сорта перерабатываемаго чугуна и отъ качества продукта, который желаютъ получить.

Для примѣра я опишу ходъ работы при переработкѣ сѣраго чугуна на весьма мягкое желѣзо.

Сперва въ печь помѣщаютъ набойку изъ шлаковъ богатыхъ окисью желѣза и, когда они размятчатся, а печь нагреется до блага каленія, закладываютъ чугунъ, который и расплавляютъ при закрытыхъ дверцахъ и сильномъ огнѣ. Уже въ этомъ періодѣ работы происходитъ окисленіе кремнія чугуна пламенными газами, богатыми кислородомъ. Когда, образующіеся шлаки покроютъ поверхность расплавленнаго металла и тѣмъ предохранятъ его отъ дальнѣйшаго дѣйствія кислорода печныхъ газовъ, необходимо возобновить поверхность, перемѣшивая *)

*) Отсюда и названіе этого процесса (по англійски *tu puddle*—перемѣшивать).

матеріалъ помощью желѣзной кочерги. Къ окисляющему дѣйствию печныхъ газовъ, присоединяется еще кислородъ шлаковъ и происходитъ окисленіе сначала остатка кремнія, затѣмъ марганца и наконецъ части углерода. Послѣдній періодъ обозначается появленіемъ синихъ огоньковъ (горѣніе СО). Съ возвышеніемъ температуры выдѣленіе газа становится на столько бурнымъ, что вся масса приходитъ въ кипѣніе. Въ этотъ же періодъ переходитъ въ шлаки большая часть содержащагося въ чугунѣ фосфора и сѣры. По мѣрѣ сгорания углерода, масса густѣетъ и отдѣльные куски ковкаго желѣза начинаютъ обнаруживаться въ жидкости, садятся на дно и свариваются вмѣстѣ. Чтобы сообщить матеріалу большую однородность ихъ вновь раздѣляютъ помощью лома на отдѣльные куски, вновь свариваютъ и операцію эту повторяютъ нѣсколько разъ. Приставшуюся къ лому крицу (вѣсомъ 2—2,5 пуда) подкатываютъ къ порогу *s* и возвышая температуру до возможнаго предѣла даютъ стечь шлакамъ, послѣ чего крицу при помощи желѣзныхъ щипцовъ вынимаютъ изъ печи и подвергаютъ затѣмъ механической обработкѣ съ цѣлью выдѣлить по возможности изъ крицы большее количество шлаковъ и сообщить металлу однородность. Прежде всего крицу проковываютъ подъ паровымъ молотомъ, затѣмъ прокатываютъ между вальцами въ полосы. Эти полосы или „*милбары*“ рѣжутъ на куски, связываютъ въ пакеты *), нагрѣваютъ въ особыхъ печахъ до сварочнаго жара и снова прокатываютъ, повторяя эти манипуляціи 2 — 3 раза (одно-двухъ-трехъ-сварочное желѣзо). Операція эта называется *рафинированіемъ*. При каждой прокаткѣ зерна желѣза, отдѣленные другъ отъ друга тончайшимъ слоемъ шлаковъ, все болѣе и болѣе вытягиваются въ волокна. Волокнистое сложеніе сварочнаго желѣза, ясно видное при разсматриваніи его излома, составляетъ одинъ изъ признаковъ, отличающихъ его отъ литого. При рафинировки всѣ свойства металла улучшаются, сопротивление и пластичность возрастаютъ, ибо при этой операціи удаляется значительное количество шлаковъ, и происходитъ какъ бы перемѣшиваніе отдѣльныхъ частей полосы, вслѣдствіе чего получается большая однородность. Такъ напр. полосовое желѣзо, показывающее до рафинировки $T_r = 3000$ кгр. на кв. см., получаетъ послѣ нѣсколькихъ рафинировокъ $T_r = 5000$ и даже 6000. Однако опыты Клей, который одну и ту же полосу рафинировалъ 11 разъ сряду показали, что улучшеніе качествъ желѣза идетъ только до нѣкотораго предѣла, затѣмъ они не измѣняются, а съ дальнѣйшимъ повтореніями той же операціи сопротивление желѣза опять падаетъ до первоначальной величины.

Каменнаго угля на 100 ч. желѣза расходуется въ пудлинговой печи болѣе чѣмъ 100 ч. Угаръ, т. е. потеря желѣза, равняется отъ 6—15%

*) Эти пакеты содержатъ обыкновенно съ сыропрокатнымъ желѣзомъ также желѣзные обрѣзки и старое желѣзо.

(по вѣсу чугуна) въ зависимости отъ качества чугуна и получаемого продукта. Въ 24 часа производятъ 12—16 насадокъ, каждая въ 12—25 пуд. чугуна.

Какъ въ кричномъ горну, такъ и въ пудлинговой печи можно по желанію получить мягкое желѣзо, не принимающее замѣтной закалки, и сталь, въ зависимости отъ степени разуглероживанія чугуна. Сварочная сталь, впрочемъ, въ настоящее время уже не примѣняется для изготовленія частей машинъ и построекъ. Она служитъ иногда лишь для полученія литой стали, именно тигельной.

Съ цѣлю увеличить производительность пудлинговой печи устраиваютъ иногда печи съ двойнымъ или четвернымъ подомъ. Въ первомъ случаѣ подъ вдвое шире обыкновеннаго и снабженъ двумя противоположно поставленными рабочими отверстиями, около которыхъ работаютъ по одному рабочему. Такъ какъ подобныя широкія печи было бы затруднительно нагрѣвать обыкновеннымъ топливомъ, то ихъ снабжаютъ газовой топкою, а также предварительно подогреваютъ чугунъ передъ внесеніемъ его въ пудлинговую печь отходящимъ жаромъ послѣднихъ, что, разумѣется, также способствуетъ увеличенію производительности печи и уменьшенію расхода топлива. Въ подобныхъ печахъ въ сутки возможно получить 600 пуд. желѣза при расходѣ 500 ч. угля на 1000 ч. желѣза.

Чтобы облегчить тяжелую работу пудлинговщика было сдѣлано много попытокъ произвести ее машинами. Устраивали напр. цилиндрическія вращающіяся печи на подобіе вращающихся содовыхъ, но всѣ эти попытки не увѣнчались успѣхомъ.

Литой металлъ.

Сюда относятся желѣзо и сталь, получаемыя по способамъ Бессемера, Томаса, Мартена, а также тигельная сталь.

Способъ Бессемера.

Въ 1855 г. англійскій техникъ Генрихъ Бессемеръ предложилъ свой способъ полученія литого желѣза и стали; этотъ способъ въ непродолжительномъ времени произвелъ цѣлый переворотъ въ технологіи желѣза, ибо явилась возможность въ короткое время перерабатывать огромныя массы чугуна на ковкій металлъ. И дѣйствительно переработка, напр. 200—500 пуд. чугуна въ пудлинговой печи происходитъ въ теченіи 24 часовъ, а по способу Бессемера—въ теченіи всего 20 минутъ. Обыкновенно же заразъ перерабатываютъ въ аппаратахъ Бессемера 300—600 пуд. чугуна. Ни одинъ изъ способовъ полученія желѣза не обладаетъ столь громадной производительностью, какъ бессемерованіе.

Принципъ способа. Вообразимъ себѣ огромный грушевидный сосудъ сдѣланный изъ желѣза и выложенной внутри огнеупорною набойкою. Вообразимъ затѣмъ, что въ этотъ сосудъ или, какъ его обыкновенно называютъ, „конверторъ“ (вслѣдствіе способности опрокидываться) налить предварительно расплавленный чугуны, черезъ который вдувается сжатый воздухъ. При этомъ сгораетъ не только углеродъ чугуна, но также и другія его примѣси: кремній, фосфоръ, марганецъ, сѣра и т. п. Теплота, выделяющаяся при реакціяхъ окисленія этихъ веществъ, настолько велика, что достаточна какъ для удержанія чугуна въ расплавленномъ состояніи во время процесса, такъ и для перевода образовавшаго ковкаго желѣза въ жидкое состояніе. Этимъ процессъ бессемерованія существенно отличается отъ пудлингованія, при которомъ надлежащая t^0 реакціи поддерживается путемъ сжиганія топлива. Другое отличіе состоитъ въ томъ, что примѣси окисляются непосредственно кислородомъ воздуха, а не при помощи кислорода шлаковъ, какъ это имѣетъ мѣсто при процесѣ пудлингованія.

Разсматривая ниже приводимую таблицу легко замѣтить, что окисленіе кремнія и фосфора доставляетъ сравнительно съ другими составными частями чугуна наибольшія количества тепла.

1 кгр. желѣза	окисляясь въ закись	выдѣляетъ	1352 к.
1 „ марганца	„ „ „	„	200 „
1 „ углерода	„ „ окись	„	2473 „
1 „ кремнія	„ „ SiO_2	„	7830 „
1 „ фосфора	„ „ P_2O_5	„	5760 „

по Ледобуру возвышеніе температуры металла съ температурой 1500^0 , производимое сгораніемъ одного процента слѣдующихъ тѣлъ:

Желѣза	44°	Кремнія	300°
Марганца	69°	Фосфора	183°
Углерода	6°		

Такимъ образомъ выясняется, что для процесса бессемерованія примѣси кремнія и фосфора въ чугуны полезны, скажемъ даже; что до извѣстнаго предѣла необходимы. Но въ томъ видѣ, въ какомъ способъ этотъ былъ предложенъ Бессемеромъ оказалось возможнымъ переработать лишь чугуны, богатые кремніемъ, но бѣдные фосфоромъ, ибо при процесѣ выгорали лишь кремній, марганецъ и углеродъ, фосфоръ же и сѣра не могли быть выдѣлены изъ металла. Между тѣмъ мы хорошо знаемъ, что примѣси эти чрезвычайно вредны для желѣза и стали. Бессемеръ снабдилъ свой аппаратъ футеровкою, главную часть которой составляла кремневая кислота. Поэтому хотя фосфоръ и окислялся въ фосфорную кислоту, но послѣдняя не могла оставаться въ шлакахъ вслѣдствіе вытѣсненія ея кремневой кислотой. Вытѣсненная же фосфорная кислота вновь восстанавливалась желѣзомъ при высокой t^0 въ фосфоръ, который вновь затѣмъ растворялся въ желѣзѣ.

Способъ Томаса.

Чтобы избѣгнуть этого недостатка, необходимо было связать образующуюся окислениемъ фосфора фосфорную кислоту какимъ-либо сильнымъ основаніемъ. Для этой цѣли англичанинъ Томасъ въ 1878 г. предложилъ забрасывать въ конверторахъ жженную известь, а „кислую“ футеровку замѣнили набойкою „основною“ изъ обожженного доломита, толченого въ порошокъ и смѣшаннаго для связности съ небольшимъ количествомъ смолы. Это видоизмѣненіе способа Бессемера называется „томасовымъ“ или основнымъ бессемеровымъ процессомъ, въ отличіе отъ процесса стараго или „кислаго бессемерованія“. Намъ теперь ясно, что для томасовскаго процесса можетъ быть примѣненъ чугуны богатый фосфоромъ, а для кислаго бессемерованія богатый кремніемъ, но бѣдный фосфоромъ. При основномъ процессѣ, напр., чугуны долженъ содержать не менѣе 2% фосфора, (иногда болѣе 3%) и поэтому можетъ содержать менѣе кремнія. Перерабатываютъ обыкновенно бѣлый чугуны, ибо углеродъ послѣдняго будучи химически связанъ съ желѣзомъ, легче окисляется, чѣмъ графитъ сѣраго чугуна. При кисломъ же способѣ употребляется сѣрый чугуны съ возможно меньшимъ содержаніемъ фосфора, но содержащій зато не менѣе 1% кремнія, чаще 1,5—2%, а иногда даже 2,5%.

Нижеслѣдующія таблицы показываютъ измѣненіе состава чугуна при описываемыхъ двухъ процессахъ.

КИСЛЫЙ СПОСОБЪ,			ОСНОВНОЙ СПОСОБЪ.		
Составныя части.	Чугуны.	Желѣзо.	Составныя части.	Чугуны.	Желѣзо.
Углеродъ . . .	4,05	0,02	Углеродъ . . .	3,163	0,018
Кремній . . .	1,125	0,014	Кремній . . .	0,007	—
Фосфоръ . . .	0,024	0,066	Фосфоръ . . .	2,982	0,09
Сѣра	слѣды	слѣды	Сѣра	0,052	0,040
Марганецъ . . .	4,40	0,03	Марганецъ . . .	1,19	0,11

Шлаки, получаемые при основномъ способѣ (такъ наз. томасовскіе шлаки), какъ богатые фосфорно-кислою известью, служатъ затѣмъ въ качествѣ прекраснаго удобренія для полей.

Привожу для примѣра составъ шлаковъ полученныхъ по кислому и основному способу:

СОСТАВНЫЯ ЧАСТИ.	Кислый способъ.	Основной способъ.
Кремнезема SiO_2	47,25	4,42
Фосфорн. кислоты P_2O_5	0,01 (Р)	18,25
Глинозема Al_2O_3	3,45	не опред.
Окиси желѣза Fe_2O_3	—	5,66
Заиси Fe	15,43	19,46
Заиси Mn	31,89	4,29
Извести CaO	1,23	41,73
Магнезии MgO	0,61	3,02
Сѣры S	слѣды	0,11

Устройство аппарата для бессемерованія (груша или конверторъ) (см. фиг. 213 и 214). Конверторъ состоитъ изъ желѣзнаго кожуха, выложеннаго извнутри огнеупорной набойкой (кислой или основной). Въ средней части конверторъ цилиндрической формы (для уменьшенія потери теплоты отъ лучеиспусканія), а вверху суженъ съ цѣлью затруднить выбрасываніе жидкаго металла и шлаковъ. Немного ниже середины кожухъ охватывается чугуннымъ кольцомъ съ двумя цапфами, покоющимися на двухъ подшипникахъ. На этихъ подшипникахъ аппаратъ можетъ вращаться вокругъ горизонтальной оси. Для этой цѣли на одну изъ цапфъ надѣта шестерня а, сдѣляющаяся съ зубчатой рейкой d, которая можетъ подниматься и опускаться при помощи гидравлическаго двигателя. Для привода воздуха въ конверторъ цапфа b дѣлается полною. Изъ полости цапфы воздухъ по трубѣ с поступаетъ въ чугунную коробку с, привинченную ко дну конвертора; изъ коробки воздухъ затѣмъ устремляется по многочисленнымъ узкимъ каналамъ d въ полость конвертора. Изъ рисунка видно, что дно конвертора сдѣлано съемнымъ и привинчено болтами m. n. (фиг. 215) къ кожуху. Набойка дна быстрѣе разрушается сравнительно съ футеровкою другихъ частей груши. Снаружи кожухъ конвертора скрѣпляется помощью прочныхъ обручей а. Набойка для кислаго процесса предпочтительно дѣлается изъ глинистаго песчаника (встрѣчающагося, напр. въ окрестностяхъ Шеффальда и Дюссельдорфа; gonister — названіе песчаника). Песчаникъ измельчаютъ,

смѣшиваютъ съ водою и формуютъ кирпичи, или же прямо набиваютъ футеровку изъ тѣста. Для основного процесса обжигаютъ доломитъ, измельчаютъ и полученный порошокъ смѣшиваютъ съ 10% сгущенной газовой смолы. Массу эту также или непосредственно употребляютъ въ дѣло, или предварительно формуютъ кирпичи. Для кислаго процесса набойку дѣлать толщиной отъ 0,4—0,5 метр.; для основного отъ 0,55—0,65 м. Что касается размѣровъ самого конвертора, то они варьируютъ въ довольно широкихъ предѣлахъ. При насадкѣ напр. въ 600 пуд. высота конвертора (отъ верхняго края воздушной коробки до верхней кромки желѣзнаго кожуха при горловинѣ) равна 5 метр., а наружный $d=3,5$ м. При насадкѣ въ 300—350 пуд. $h=4$ метра, а наружный $d=2,3$ м.

Ходъ работы въ конверторахъ. Общее расположеніе аппаратовъ при бессемерованіи (см. фиг. 216). Для того чтобы возможно было вызвать въ конверторѣ процессы, необходимыя для превращенія чугуна въ желѣзо, нужно предварительно расплавить чугунъ. Это производится въ отдѣльныхъ вагранкахъ или пламенныхъ плавильныхъ печахъ. Иногда перерабатываемый чугунъ прямо изъ доменной печи подвозится къ конверторамъ въ литейныхъ чанахъ. Для обезпеченія однородности состава чугуна служатъ такъ наз. коллекторы, въ которыхъ смѣшиваютъ предварительно жидкій чугунъ изъ вышеназванныхъ приборовъ. Коллекторъ—это родъ конвертора, только очень большого размѣра (до 100 тоннъ чугуна) и безъ дутья. Дабы расплавленный чугунъ не охладился, конверторъ, въ которомъ предполагается вести процессъ окисленія, долженъ быть предварительно нагрѣтъ. Съ этой цѣли конверторъ нагружаютъ раскаленнымъ коксомъ и начинаютъ дутье, поставивъ аппаратъ въ положеніе В; выдѣляющіеся при этомъ газы удаляются черезъ колпакъ d въ вытяжную трубу e . Послѣ прогрева, конверторъ кладутъ въ положеніе А, рыльцемъ вверхъ (на спину) и вливаютъ расплавленный чугунъ изъ плавильной печи a a или иного прибора. Теперь вновь приводятъ въ дѣйствіе дутье и коль скоро упругость дутья достигаетъ одной атмосферы, быстро приводятъ конверторъ въ вертикальное положеніе и усиливаютъ дутье. Тотчасъ же начинаются процессы окисленія, различныхъ примѣсей чугуна, причемъ порядокъ ихъ сгорания различенъ въ зависимости отъ температуры расплавленного чугуна при началѣ дутья и химическаго состава чугуна. Извѣстно, что сродство кислорода къ углероду увеличивается съ повышеніемъ температуры за извѣстный предѣлъ и наконецъ становится сильнѣе сродства его къ Si, Mn. Вслѣдствіе этого при продуваніи воздуха черезъ чугунъ при относительно низкой температурѣ послѣдовательный порядокъ окисленія будетъ слѣдующій: кремній, марганецъ, желѣзо, углеродъ, а если расплавленный чугунъ сильно перегрѣтъ, то прежде этихъ примѣсей сгоритъ углеродъ.

Затѣмъ, намъ уже извѣстно, что кислый процессъ имѣетъ мѣсто при чугунахъ богатыхъ кремніемъ и бѣдныхъ фосфоромъ, а основной при обратномъ отношеніи этихъ элементовъ.

Опишем для примѣра ходъ работы по кислому процессу. Здѣсь различаютъ англійскій и нѣмецкій способы.

Англійскій способъ болѣе старый и употребляется для чугуновъ богатыхъ кремніемъ и бѣдныхъ фосфоромъ. Чугунъ при плавленіи нагрѣвается лишь до полученіи жидкой массы (1250 и 1300°). Когда груша по предыдущему наполнена чугуномъ, поставлена въ вертикальное положеніе и дутье усилено—начинаетъ вылетать изъ горла конвертора короткое красноватое пламя—вслѣдствіе начавшагося окисленія кремнія и марганца. Въ этотъ періодъ, внутри конвертора слышно клокотаніе вслѣдствіе прохожденія воздуха черезъ расплавленный металлъ. По прошествіи 4—6' пламя принимаетъ голубоватый цвѣтъ и начинаетъ сильно свѣтиться: это окисляется углеродъ въ окись углерода, которая при выходѣ изъ конвертора сгораетъ въ CO_2 . Температура возвышается, пламя дѣлается ослѣпительно бѣлымъ, и шумъ внутри конвертора переходитъ въ грохочащій гулъ, вслѣдствіе энергичнаго выдѣленія большихъ массъ окиси углерода. Кипѣніе въ этотъ періодъ настолько сильно, что изъ горла конвертора выбрасываются частицы расплавленного металла и шлаковъ. Далѣе шумъ начинаетъ ослабѣвать, появляется буроватый дымъ, указывающій, что все примѣси сгорѣли и начинаетъ горѣть само желѣзо (бурый дымъ—пары окиси Fe). Для болѣе точнаго опредѣленія конца реакціи и вообще наблюденія за ходомъ процесса прибѣгаютъ къ помощи спектральнаго анализа, изслѣдуя пламя, выбрасываемое конверторомъ при помощи спектроскопа. Англійскій химикъ Roscoe нашелъ, что при началѣ сгоранія углерода спектръ характеризуется появленіемъ нѣсколькихъ группъ яркосвѣтящихся зеленыхъ линій (окисленіе Mn). Линіи эти исчезаютъ въ моментъ полного обезуглероживанія желѣза. Если бы мы желали получить болѣе твердое желѣзо или сталь, то необходимо добавить къ расплавленному металлу углеродъ. Углеродъ обыкновенно прибавляютъ въ видѣ зеркальнаго чугуна (отъ 4—10% по вѣсу перерабатываемого чугуна). Мы знаемъ, что зеркальный чугунъ содержитъ также значительныя количества марганца. Тогда какъ углеродъ зеркальнаго чугуна увеличить въ желѣзѣ содержаніе углерода до желаемаго предѣла, марганецъ восстановитъ растворенную въ металлѣ закись желѣза, имѣющую свойство сообщать, подобно сѣры, желѣзу „красноломкость“.

Обратимся вновь къ нашему конвертору, именно къ тому моменту, когда выдѣленіе бурого дыма усилилось и спектральный анализъ указалъ, что обезуглераживаніе достигло желаннаго предѣла. Теперь прекращаютъ дутье, кладутъ конверторъ на спину прибавляютъ къ массѣ желаемое количество расплавленного зеркальнаго чугуна, вновь приводятъ аппаратъ въ вертикальное положеніе и пускаютъ въ ходъ дутье для перемѣшиванія содержимаго конвертора. Черезъ нѣсколько секундъ реакція окончена, грушу кладутъ на спину и готовый металлъ выпускаютъ въ литейный чанъ. Изъ этого чана металлъ затѣмъ уже разливается въ формы (желѣзные конуса или усѣченные пирамиды,

зарытыя въ землю и смазанныя внутри известковымъ молокомъ). Весь процессъ продолжается 10—20'. Для манипулированія съ ковшомъ служить платформа k, на которомъ ковшъ укрѣпленъ подвижно. Платформа можетъ вращаться, а также подниматься и опускаться помощью стержня s, стоящаго на поршнѣ гидравлическаго пресса o, и p — рукоятки приводовъ, помощью которыхъ рабочій, защищенный отъ жара краномъ q, управляетъ движеніемъ стола и ковша; n—противовѣсъ.

Можно получать сталь и болѣе твердое желѣзо и непосредственно (безъ добавки зеркальнаго марганца), останавливая процессъ когда сгораніе кремнія окончится, т. е. не ведутъ разуглероживаніе чугуна до конца, а прекращаютъ дутье въ тотъ моментъ, когда металлъ будетъ содержать желаемое количество углерода. Это такъ наз. „шведскій способъ“ примѣняется сравнительно рѣдко (главнымъ образомъ для чугуновъ очень бѣдныхъ фосфоромъ и богатыхъ углеродомъ), ибо даже помощью спектральнаго анализа, затруднительно исполнѣть точно опредѣлить моментъ желаемой степени разуглероживанія.

Нѣмецкій способъ отличается отъ описаннаго, англійскаго тѣмъ, что чугунъ передъ впускомъ въ конверторъ сильно перегрѣваютъ. Вслѣдствіе этого при вдуваніи воздуха окисляется прежде всего углеродъ, а затѣмъ уже кремній и марганецъ. Поэтому этотъ способъ примѣняютъ, когда желательно, чтобы получаемое желѣзо содержало нѣкоторыя количества кремнія и марганца. Чугунъ для этого способа относительно менѣе богатъ кремніемъ.

Анализы, характеризующіе нѣмецкій способъ работы.

	C.	Si	Mn
Переработанный чугунъ .	3,46	1,93	2,99
По прошествіи 5 мин. .	2,71	1,07	1,92
” ” 10 мин. .	1,63	0,79	1,36
” ” 18 мин. .	0,092	0,532	0,538
Послѣ присадки зеркальнаго чугуна	0,104	0,346	0,621

Ходъ работы при основномъ способѣ бессемерованія отличается отъ вышеописанныхъ тѣмъ, что, во-1-хъ, въ конверторъ передъ впускомъ чугуна забрасывается известь и, во-2-хъ, тѣмъ, что дутье не прекращаютъ при наступленіи полного разуглероживанія, но продолжаютъ далѣе до перехода всего фосфора въ шлаки. Прежде всего сгораетъ углеродъ и кремній, и затѣмъ лишь фосфоръ окисляется въ фос-

форную кислоту, которая связывается съ CaO и MgO въ шлакъ. Получается очень мягкое желѣзо. Для добавленія углерода служить, какъ и при кисломъ способѣ, зеркальный чугуны, съ тою лишь разницею, что добавлять его въ данномъ случаѣ прямо въ конверторъ нельзя, но слѣдуетъ сливъ сначала шлаки, спустить одновременно въ литейный чанъ какъ желѣзо изъ конвертора, такъ и необходимое количество зеркальнаго чугуна, расплавленного предварительно въ вагранкѣ. Этимъ устраняется соприкосновение шлаковъ съ зеркальнымъ чугуномъ, углеродъ котораго могъ бы обратно возстановить изъ нихъ фосфоръ, а послѣдній затѣмъ вновь перешелъ бы въ металлъ. Вмѣсто зеркальнаго чугуна Darby предложилъ производить насыщеніе углеродомъ помощью твердаго же углерода, который въ расплавленномъ желѣзѣ, (сильно нагрѣтомъ) растворяется столь же быстро, какъ и сахаръ въ водѣ.

Расходъ топлива: 25—45 пуд. на 100 пуд. чугуна (10—15 пудовъ кокса для вагранокъ и пр. и 15—30 пуд. каменнаго угля для двигателей). Въ сутки въ одномъ конверторѣ можно сдѣлать 20—25 операций. Какъ было уже замѣчено, томасовскіе шлаки употребляются для удобренія. Прежде полагали, что они нуждаются въ предварительной химической обработкѣ (освобожденіе P_2O_5), но теперь убѣдились, что вполне достаточно размолоть лишь шлаки въ муку. Шлаки кислаго процесса примѣненія не имѣютъ.

Способъ Мартена.

При бессемеровскомъ процессѣ, какъ мы только что видѣли, превращеніе чугуна въ ковкое желѣзо основано на окисленіи кислородомъ воздуха углерода и другихъ примѣсей расплавленного чугуна. Но уменьшить % содержаніе примѣсей характеризующихъ чугуны возможно также путемъ сплавленія чугуна съ ковкимъ желѣзомъ. Основной принципъ способа Мартена, предложеннаго въ 1865 г. бр. Martin во Франціи и состоятъ въ полученіи средняго продукта путемъ сплавленія чугуна и коваго желѣза въ пламенныхъ печахъ подъ окисляющимъ дѣйствіемъ пламени. Но способъ этотъ могъ осуществиться лишь послѣ изобрѣтенія Сименсомъ регенераторовъ для газоваго топлива, что дало возможность получать безъ особаго затрудненія ту весьма высокую температуру (болѣе 2000°), которая необходима для плавки смѣси чугуна съ желѣзомъ. Поэтому описываемый способъ также зовется способомъ Сименсъ-Мартена. Въ качествѣ желѣза для пониженія % содержанія углерода обыкновенно служатъ желѣзные обрѣзки, желѣзный ломъ, старые рельсы и т. п. Тамъ гдѣ стараго желѣза не хватаетъ, „присаживаютъ“ еще красный желѣзнякъ, отдающій при плавкѣ свой кислородъ углероду желѣза.

Печь Сименсъ - Мартена изображена на фиг. 217. Собственно рабочее пространство состоитъ изъ корытообразнаго пода пе-

рекрытого сѣдлообразнымъ (для лучшаго отраженія жара) сводомъ. Подъ печи дѣлается изъ динасовыхъ кирпичей, покоющихся на толстыхъ чугунныхъ плитахъ, которыя въ свою очередь расположены на кирпичныхъ столбахъ такимъ образомъ, что подъ подомъ образуются каналы для свободного прохода наружнаго воздуха. Подобное воздушное охлажденіе устроено также и въ обоихъ порогахъ. Боковыя стѣнки, а также и сводъ дѣлаются изъ лучшаго динаса. Подобно бесемерованію и процессъ Мартена можетъ быть „кислымъ“ или „основнымъ“. Въ первомъ случаѣ и футеровка пода должна быть „кислая“. На слой динаса утрамбовываютъ смѣсь изъ кусковъ кварца съ 2 — 5% огнеупорной глины. При „основномъ“ подъ на плиты кладутъ слой магнезитоваго кирпича на которомъ утрамбовываютъ набойку изъ жженого доломита и дегтя. При набойкахъ изъ доломита, между послѣдними и динасовыми кирпичами стѣнокъ, слѣдуетъ положить слой хромовыхъ кирпичей. Въ стѣнахъ печи имѣются отверстія, изъ которыхъ среднія служатъ для насадки металла, перемѣшиванія массы ломомъ и т. п. Для выпуска расплавленнаго металла служатъ отверстія, къ которому подъ имѣетъ наклонъ. Отверстіе это во время плавки замазывается огнеупорнымъ составомъ.

Регенераторъ Сименса состоитъ изъ 4 камеръ АА и ВВ съ насадкою въ клѣтку изъ огнеупорнаго кирпича. Онъ служитъ вспомогательнымъ аппаратомъ для предварительнаго нагрѣва генераторнаго газа и воздуха передъ ихъ вступленіемъ въ печь Мартена, помощью теплоты исходящихъ изъ печи газовъ. Предположимъ, что пламя перекидывается по длинѣ печи слѣва направо. Въ этомъ случаѣ газъ поднимается въ печь по каналу а, воздухъ по каналу b; возлѣ порога оба газа перемѣшиваются и смѣсь воспламеняется. Пламя проносится по рабочему пространству печи надъ подомъ, расплавляя металлъ, а продукты горѣнія выходятъ черезъ каналы а и b съ правой стороны, но не прямо въ дымовую трубу, а пройдя предварительно камеры А и В. Когда кладка въ каналахъ А и В достаточно накалится, измѣняютъ помощью клапановъ ходъ газовъ такимъ образомъ, что воздухъ и газъ теперь будутъ проходить черезъ кладку правыхъ регенераторовъ, уже накаленныхъ и вступать въ печь предварительно нагрѣтые, отчего пирометрическій эффектъ горѣнія, очевидно, повысится. Накаливаться исходящимъ жаромъ будетъ теперь уже кладка лѣвыхъ генераторовъ и т. д. Измѣняя такимъ образомъ время отъ времени направленіе газовъ въ печи, можно достигнуть весьма высокихъ температуръ до 2000° и болѣе.

Ходъ работы въ печахъ Сименса Мартена. Различаютъ, какъ и при конверторахъ кислый и основной процессъ.

Кислый процессъ. Набойка кислая. Хорошо высушенную печь сильно накаливаютъ, вносятъ чугунъ, который расплавляется и сильно перегрѣваютъ. Въ послѣднемъ, затѣмъ, постепенно растворяютъ небольшими порціями мягкое желѣзо. Обыкновенно процессъ ведутъ та-

кимъ образомъ, чтобы въ результатъ получить почти вполне обезуглероженное желѣзо, которое затѣмъ насыщаютъ углеродомъ до желаемаго предѣла прибавленіемъ соответствующихъ количествъ зеркальнаго чугуна или ферромангана. Объ окончаніи процесса судятъ по пробамъ, вынимаемымъ время отъ времени. Затѣмъ пробиваютъ глину въ выпускномъ отверстіи и спускаютъ металлъ въ литейный чанъ. Необходимо замѣтить, что какъ при бессемеровскомъ такъ и при мартеновскомъ процессы расплавленный металлъ всегда поглощаетъ кислородъ (изъ вдуваемого воздуха или изъ топочныхъ газовъ), который оказываетъ вліяніе на свойства получаемого желѣза, особенно же понижаетъ его ковкость. Добавка зеркальнаго чугуна или ферромангана къ жидкому желѣзу при окончаніи процесса способствуетъ выдѣленію поглощенного кислорода. Такъ какъ цѣль эта достигается лишь при нѣкоторомъ избыткѣ Mn, то обыкновенное желѣзо, полученное вышеуказанными способами содержитъ отъ 0,2—1% Mn и болѣе.

Основной способъ отличается тѣмъ, что во-1-хъ набойку въ печи дѣлаютъ основною, а также во время обработки металла въ печь прибавляется известь. Этотъ способъ даетъ возможность перерабатывать также чугунъ съ значительнымъ содержаніемъ фосфора. Шлаки кислого процесса иногда употребляются въ качествѣ присадки при доменной плавкѣ, а шлакамъ основнаго не нашли еще вполне удовлетворительнаго примѣненія.

Размѣры и производительность печей. Длина пода отъ 3,5 метр. до 8 метр. (есть печи съ подомъ и въ 12 метр.). Отношеніе длины пода къ ширинѣ пода колеблется отъ $\frac{2}{1}$ (для малыхъ) до $\frac{2}{3}$ (для большихъ печей). Высота слоя расплавленного металла отъ 0,2—0,6 м.; глубина пода—0,45—0,75 м. Въ сутки въ одной печи можно сдѣлать отъ $2\frac{1}{2}$ —3 плавовъ, каждая отъ 250—1500 пуд. металла. Чаше всего встрѣчаются печи съ плавкою по 500—600 пуд. Расходъ угля на 1000 пуд. полученной стали=300—700 пудовъ въ зависимости отъ тщательности работы и величины печи. Угаръ при способѣ Мартена бываетъ отъ 4—6%.

Въ послѣднее время способъ Мартена сдѣлалъ большіе успѣхи. Значительно увеличена величина печей, что, разумѣется, связано съ уменьшеніемъ расходовъ на производство. Печи на 50 тоннъ встрѣчаются часто: на сталелитейномъ заводѣ Pencoys (Пенсильванія) работаетъ 75-тонная печь и проектируются новыя печи на 125—150 тоннъ!

Наконецъ, благодаря введенію способа Бертранъ-Тили, производительность мартеновской печи увеличилась почти въ 4 раза. Этотъ способъ состоитъ въ употребленіи двухъ основныхъ мартеновскихъ печей: небольшой верхней, въ которой плавится чугунъ и подвергается частичному передѣлу рудой, и нижней, въ которой сплавляется весь желѣзный ломъ съ матеріаломъ, перепущеннымъ изъ верхней печи. Обѣ порціи металла быстро и энергично реагируютъ другъ съ другомъ и

и передѣлъ въ нижней печи совершается почти мгновенно. Во время перепуска изъ верхней печи въ нижнюю удаляется шлакъ. Быстрота способа Бертрана-Тилля обуславливается быстрымъ передѣломъ въ нижней части. Сильное распространѣніе мартеновскаго способа обуславливается съ одной стороны возможностью перерабатывать старый желѣзный ломъ, а съ другой стороны высокими качествами получаемаго металла. Мартеновская сталь и желѣзо примѣняется съ большимъ успѣхомъ для фасонныхъ отливокъ, ибо содержитъ въ растворѣ мало газовъ. Подобно сварочному желѣзу мягкое мартеновское желѣзо также хорошо куется и сваривается. Почти все сорта фасоннаго желѣза, употребляемые въ архитектурѣ (главнымъ образомъ двухтавровыя балки), дѣлаются въ настоящее время изъ мартеновской стали.

Цементная сталь.

Еще въ 18 столѣтіи водворился въ Англіи (Шеффельдъ), а затѣмъ перешелъ на континентъ Европы способъ полученія стали, основанный на принципѣ, противоположномъ принципу описанныхъ способовъ. Въ послѣднихъ сталь получалась отнятіемъ отъ чугуна части углерода, а при разсматриваемомъ способѣ основнымъ матеріаломъ служитъ мягкое желѣзо, въ которое вводятъ до извѣстнаго предѣла углеродъ. Съ этою цѣлью полосы мягкаго желѣза, пересыпанные порошкомъ древеснаго угля прокаливаютъ продолжительное время безъ доступа воздуха при 1000° С. При этомъ процессѣ частицы углерода сначала насыщаютъ поверхностный слой желѣза, передающій затѣмъ часть своего углерода нижерасположенному и т. д. Этотъ процессъ, называемый цементацией или томленіемъ стали, происходитъ тѣмъ быстрее, чѣмъ выше t° . При этомъ также происходитъ возстановленіе закиси желѣза углеродомъ съ выдѣленіемъ окиси углерода, образующей на поверхности цементной стали (или морянки) характерныя пузырьки, отчего металлъ этотъ называется по-англійски blister-steel (т. е. пузырчатая сталь). Процессъ томленія протекаетъ весьма медленно (21—28 дней) расходъ топлива весьма великъ, *) почему и получаемая цементная сталь, довольно дорога. Послѣднее обстоятельство ограничиваетъ примѣненіе цементной стали, несмотря на большую чистоту цементной сравнительно съ металломъ, получаемымъ изъ чугуна. Сравнительная чистота томлянки вызвана, очевидно, тѣмъ обстоятельствомъ, что исходнымъ матеріаломъ для фабрикаціи служитъ не чугунъ, но мягкое желѣзо, изъ котораго удалена уже значительная часть примѣсей при процессѣ обезуглероживанія. Цементная сталь примѣняется исключительно для приготовленія высокаго качества напильниковъ, брони и др.

*) Температуру въ 1000° С. держать 7—9 дней.

Томленіе желѣза производится въ особыхъ длинныхъ ящикахъ (длина=3 метр., ширины 1 м., высоты 1 м.), сложенныхъ изъ динаса. Ящики эти, вмѣщающіе заразъ около 600 пуд. полосового желѣза, которое пересыпается порошкомъ древеснаго угля, вставляютъ затѣмъ для нагрѣванія въ пламенные печи особаго типа.

Тигельная сталь.

Въ серединѣ XVIII столѣтія близъ Шеффилда впервые начали переплавлять сварочную сталь въ тигляхъ съ цѣлью улучшенія ея качествъ. Тигли лѣпятъ изъ смѣси отмученнаго графита и такого количества огнеупорной глины, чтобы получилась достаточно пластичная масса. Вместимость тигля 10—25 кгр. Ихъ наполняютъ измельченнымъ матеріаломъ и помѣщаютъ для плавки въ волчекъ или въ пламенные печи съ газовыми топками. Тигли передъ плавкою закрываются крышкой, въ которой сдѣлано отверстіе, служащее для взятія пробы. Для полученія тигельной стали въ настоящее время примѣняютъ сварочную, цементную, мартеновскую и даже бессемеровскую сталь. Необходимо, чтобы матеріалъ содержалъ по возможности меньше сѣры и фосфора.

Изъ всѣхъ сортовъ литой стали, тигельная занимаетъ по качествамъ первое мѣсто. Зависитъ это отъ большей однородности, приобретаемой металломъ при переплавкѣ; отъ удаленія примѣсей въ шлакъ и безъ того сравнительно чистаго основного матеріала.

Въ прежнее время тигельную сталь исключительно примѣняли для изготовленія предметовъ незначительныхъ размѣровъ: инструментовъ, перьевъ и т. п., когда же Фр. Крупшъ въ Эссенѣ доказалъ возможность соединенія содержимаго многихъ тиглей въ одну однообразную болванку, примѣняя для проковыванія ея достаточно сильные паровые молоты, — тигельную сталь стали также примѣнять и для предметовъ значительныхъ размѣровъ, напр. частей машинъ, артиллерійскихъ орудій и т. п. Ухаціусъ предложилъ также получать литую сталь путемъ сплавленія въ тигляхъ чугуна съ желѣзомъ, или чугуна съ рудой; но въ настоящее время „сталь Ухаціуса“ почти не примѣняется.

Съ цѣлью измѣнить въ ту или другую сторону качествъ литой стали къ ней во время плавки въ горшкахъ прибавляютъ тѣ или другія примѣси:

- 1) Съ цѣлью увеличить твердость: феррохромъ или ферровольфрамъ.
- 2) Съ цѣлью увеличить крѣпость и предѣлъ упругости—никель.
- 3) Для уменьшенія отдѣленія газовъ при литьѣ и увеличеніе ковкости—ферроманганъ.
- 4) Съ цѣлью уменьшить твердость—мягкое желѣзо.

Способы формовки желѣза и стали.

Въ настоящее время для формованія желѣза пользуются тремя способами: литьемъ, проковкою и прокаткою. Всѣ эти способы, кромѣ сообщенія издѣлію определенной формы измѣняютъ также, иногда весьма существенно и свойства обрабатываемаго матеріала,

Отливаніе. Приемы формовки желѣзныхъ и стальныхъ издѣлій путемъ отливанія въ общемъ схожи съ отливкою чугуна. Слѣдуетъ впрочемъ замѣтить, что получать изъ ковкаго желѣза плотныя и однородныя отливки значительно труднѣе, чѣмъ изъ чугуна. Это зависитъ отъ слѣдующихъ причинъ:

1) Желѣзо обладаетъ бѣльшими сравнительно съ чугуномъ коэффиціентомъ усадки ($=\frac{1}{50}-\frac{1}{72}$ для желѣза и $=\frac{1}{96}$ для чугуна), вслѣдствіе чего легче образуются при остываніи отлитаго издѣлія въ формахъ усадочныя раковины.

2) Температура плавленія желѣза значительно выше чугуна, слѣдовательно труднѣе получить необходимую для совершеннаго заполненія всѣхъ углубленій формы степень разжиженности.

3) Желѣзо въ расплавленномъ состояніи обладаетъ способностью поглощать различные газы, которые, выдѣляясь при остываніи предмета, обусловливаютъ его пузырчатость.

Это особенно относится до литого металла, полученнаго путемъ бессемерованія, ибо вслѣдствіе сильнаго напора струи воздуха, имѣющаго мѣсто при этой операціи, въ расплавленномъ металлѣ растворяется много газовъ. Мартеновскій металлъ обладаетъ этимъ недостаткомъ въ меньшей степени. Если полученное издѣліе должно подвергаться послѣ отливки еще проковкѣ или прокаткѣ, то названные недостатки литого желѣза уничтожаются; пустоты устраняются путемъ „свариванія“ и предметъ становится однороднымъ и болѣе плотнымъ. Но не всякій литой металлъ способенъ свариваться. Литой металлъ вообще хуже сваривается сварочнаго; (мартеновскій лучше бессемеровскаго, тигельная сталь лучше мартеновской). Причины заключаются въ томъ, что для свариванія требуется, чтобы поверхности были свободны отъ ржавчины. Въ сварочномъ металлѣ, какъ мы знаемъ содержится всегда нѣкоторое количество шлаковъ, покрывающихъ зерна металла и предохраняющихъ ихъ отъ окисленія. Затѣмъ полученіе сложныхъ издѣлій путемъ проковки и прокатки значительно дороже, чѣмъ помощью отливанія. Эти обстоятельства заставили выработать особыя мѣры, устраняющія вышеизложенныя недостатки желѣзныхъ отливокъ.

1) До отливки въ формы, расплавленному желѣзу даютъ отстаиваться достаточное время въ литейномъ ковшѣ или чанѣ. Во время этаго отстаиванья часть поглощенныхъ газовъ можетъ выдѣлиться.

2) Наполняютъ форму жидкимъ металломъ не сверху, но снизу. Этотъ приемъ, облегчающій выдѣленіе газовъ, называется „сифоннымъ отливаніемъ“.

3) Отливаніе съ прибылью. Металлъ отливается съ лишнею верхнею частью, въ которой главнымъ образомъ и скопляются газы. Послѣ остыванія издѣлія прибыль отрубается.

4) Увеличиваютъ, когда это возможно, размѣръ издѣлія, дабы оно медленнѣе застывало.

5) Сжимаютъ отлитыя болванки помощью поршня, сверху нагруженного (приемъ рѣдко примѣняемый).

6) Прибавляютъ различныя вещества, способствующихъ выдѣленію газовъ изъ расплавленного металла и понижающая t° его плавки.

Этотъ приемъ часто примѣняется. Обыкновенно прибавляютъ ферросилицій, ферроманганосилицій и алюминій. Небольшая прибавка алюминія (0,01—0,25%) въ чистомъ видѣ или въ видѣ сплава съ желѣзомъ (ферро-алюминій) кромѣ противодѣйствія образованія пузырей—понижаетъ еще и температуру плавленія, дѣлаетъ расплавленный металлъ жиже. Вѣроятно алюминій раскисляетъ окислы желѣза, имѣющіе свойство сообщать расплавленному металлу большую густоту. Отливки фасонной стали, полученныя, помощью алюминія называются „mitis“.

Благодаря послѣднему приему, фасонная отливка стала примѣняться въ настоящее время весьма часто. Мелкія издѣлія, отличающіяся большею прочностью и однородностью, нежели соответствующія издѣлія изъ ковкаго чугуна, вытѣсняють послѣднія изъ употребленія. Помощью фасонной отливки готовятъ напр. стальные колеса паровозовъ и вагоновъ; иногда производятъ и отливки огромныхъ размѣровъ. (Путиловскій заводъ отлил для одного броненосца форштевень вѣсомъ въ 1582 пуда (проф. Кирпичевъ). Передъ отливкой, болванки желѣза или стали, смотря по размѣрамъ получаемого издѣлія, расплавляются въ огнеупорныхъ тигляхъ, помѣщаемыхъ въ горнахъ или волчкахъ, или же употребляютъ особыя пламенные печи. При фасонныхъ отливкахъ примѣняются формы изъ смѣси огнеупорной глины съ шамоттой; для отливокъ же болванокъ, предназначенныхъ для дальнѣйшей обработки проковкой или прокаткой употребляются изложницы, т. е. формы, отлитыя изъ чугуна или стали.

Ковка желѣза. Помощьюковки очень часто формуютъ желѣзные и стальные издѣлія. Этимъ же приемомъ пользуются также и для измѣненія свойствъ металла, для удаленія изъ него шлаковъ, для сообщенія ему большей однородности, плотности и т. п. Съ этою цѣлью желѣзо, предварительнo нагрѣтое до t° размягченія, подвергается затѣмъ давленію между двумя очень твердыми поверхностями, напр. молотомъ и наковальнею, металлическими вальками, въ прессахъ. Всѣ эти операціи: проковка подъ молотомъ, прокатка въ вальцахъ, отжиманіе въ прессахъ можно разсматривать, какъ различные видыковки. Ковка

большихъ предметовъ совершается помощью паровыхъ молотовъ, вѣсъ которыхъ иногда доходить до 7000 пудовъ.

Прокатка производится въ такъ наз. прокатныхъ станкахъ и примѣняется для приготовленія, какъ сортового желѣза (круглое, поло-совое, угловое, тавровое) и рельсъ, такъ и проволоки и листового желѣза.

Прокатный станокъ состоитъ изъ станины, въ которой расположены одна или нѣсколько паръ вращающихся горизонтальныхъ стальныхъ или чугунныхъ (закаленныхъ) цилиндровъ, въ промежутокъ между которыми увлекается треніемъ, нагрѣтый предварительно до надлежащей t^0 въ сварочной печи, металлъ. При протягиваніи черезъ вальцы увеличивается какъ ширина, такъ и длина металла, т. е. онъ одновременно расплющивается и вытягивается. Если теперь на гладкой поверхности цилиндровъ сдѣлать кольцеобразныя углубленія (т. н. ручки или калибры) сѣченіе которыхъ соотвѣтствуетъ сѣченію окончательнаго продукта, то мы имѣемъ возможность получать сортовое желѣзо разнообразнаго поперечнаго сѣченія.

Каждый профиль, однако, какъ бы онъ ни былъ простъ, получается не однократнымъ протягиваніемъ черезъ вальцы, но начиная обыкновенно съ брусевъ, имѣющихъ очертаніе квадрата съ закругленными углами, а затѣмъ переходя постепенно на все болѣе и болѣе мелкіе калибры, поперечное сѣченіе которыхъ постепенно приближается къ требуемой формѣ издѣлія. Для прокатки напр. рельса необходимо отъ 16 до 24 калибровъ. Однократной прокаткой нельзя получить издѣлія потому, что потребовалось бы слишкомъ значительное усиліе. Цилиндры при этомъ не выдержали бы, да и само прокатываемое желѣзо получило бы разрывъ. Готовое издѣліе, послѣ выхода изъ прокатнаго станка, обрѣзывается помощью круглыхъ пилъ по концамъ, и еще сильно нагрѣтое, выпрямляется на чугунной плитѣ ударами молота, очищается проволочными щетками, а иногда удаляютъ окислы металловъ помощью HCl .

Вмѣсто прокатнаго станка съ двумя вальцами иногда примѣняютъ и 3-хъ вальцовые станки, болѣе удобные въ работѣ, ибо при обыкновенныхъ парныхъ валкахъ, чтобы вложить протянутую полосу въ слѣдующій калибръ, приходится каждый разъ переносить ее на другую сторону. Для полученія листового желѣза, слѣдуетъ, разумѣется, валки дѣлать гладкими, безъ ручьевъ. Для полученія проволоки, желѣзо до опредѣленнаго діаметра также прокатываютъ между быстро вращающимися вальцами и очищаютъ затѣмъ отъ окалины соляной кислотой, или помѣщая въ вращающіе барабаны съ крупнымъ пескомъ. Для полученія болѣе тонкой проволоки ее затѣмъ наматываютъ на вращающееся мотовило и протаскиваютъ (волочатъ) черезъ постепенно уменьшающіяся отверстія въ стальной доскѣ. Вертикальные вальцы употребляются для прокатыванія цѣликомъ бандажей для колесъ.

Наконецъ слѣдуетъ упомянуть еще и объ „холодной прокаткѣ“. Прокатка желѣза въ ненагрѣтомъ состояніи употребляется, когда желаютъ получить предметъ съ блестящею поверхностью и когда желаютъ значительно увеличить сопротивленіе желѣза (сопротивленіе при этомъ иногда возрастаетъ вдвое). Но не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что послѣ подобной операціи металлъ теряетъ почти всю свою пластичность, т. е. становится жесткимъ. Тамъ гдѣ отсутствуютъ значительные удары и сотрясенія, этотъ пріемъ можетъ быть примѣненъ. Напр. приводные валы въ Америкѣ часто изготовляются по этому способу прокатки. Валы сразу получаютъ съ правильно полированной поверхностью, вслѣдствіе чего избѣгается дорого стоящее обтачиваніе и полированіе на токарномъ станкѣ. Проковка и прокатка въ горячемъ состояніи также увеличиваетъ сопротивленіе металла, но при этомъ увеличивается и пластичность, и улучшаются другія свойства желѣза. Металлъ отлитой болванки имѣетъ крупно-зернистое строеніе; онъ слабъ и жестокъ и не пригоденъ для употребленія. Только послѣ надлежащей проковки металлъ пріобрѣтаетъ надлежащія качества. Значительное вытягиваніе необходимо для полученія металла высокихъ качествъ. Напр. болванка, изъ которой дѣлаются рельсы вытягивается настолько, что длина ихъ увеличивается въ 20 разъ и болѣе (Кирпичевъ). Нижеприведенная таблица наглядно показываетъ постепенное улучшеніе свойствъ металла по мѣрѣ уменьшенія вслѣдствіе прокатки поперечнаго сѣченія (результаты опытовъ Киркальди).

Поперечное сѣченіе.	T_e	T_r	A_r
дюймы.	кгр. на кв. сант.	кгр. на кв. сант.	%
6×6	1981	3866	3,5
5×5	2090	4328	5,6
4×4	2261	5058	13,8
3×3	2506	5151	16,7
2×2	2744	5261	17,9

То же самое слѣдуетъ замѣтить и относительно проволоки. Чѣмъ тоньше проволока, тѣмъ сопротивленія ея разрыву выше.

Способы соединенія желѣзныхъ частей.

Различаютъ два главныхъ типа: постоянное и разборное соединеніе. Для постоянного соединенія употребляютъ свариваніе, спаиваніе и склеиваніе частей; для разборнаго: болты, винты и клинья.

Сварка. Мы уже знаемъ въ чемъ состоитъ сущность сварки. *) Сваривать можно желѣзо и сталь, но не чугуны. Приѣмъ этотъ примѣняется напр. когда необходимо увеличить предметъ въ длину, не увеличивая въ то же время его поперечное сѣченіе, а также при соединеніи частей, пересѣкающихся подъ острымъ угломъ. Необходимое условіе удачной сварки—совершенно чистая безъ слѣдовъ окиси поверхность металла. Предварительная очистка поверхности до сварки не достигаетъ цѣли, ибо при накаливаніи желѣзо опять окислится. Поэтому при сваркѣ употребляютъ слѣдующій приѣмъ: свариваемыя поверхности посыпаютъ порошкомъ, который при накаливаніи соединяется съ окислами желѣза, образуя легкоплавкій шлакъ. Этотъ послѣдній предохраняетъ металлъ отъ окисленія и выдавливается затѣмъ при ковкѣ или прокаткѣ. Вотъ почему желѣзо, полученное кричнымъ способомъ или пудлингованіемъ всегда лучше сваривается литого желѣза. Мы знаемъ, что въ сварочномъ желѣзѣ всегда содержатся шлаки. Для посыпанія желѣза служитъ обыкновенно чистый кварцевый песокъ. Для стали, которую можно нагрѣть лишь до свѣтло-краснаго каленія примѣняютъ болѣе легкоплавкую смѣсь (8 частей буры, 1 часть нашатыря, 1 часть синь-кали).

Не слѣдуетъ однако упускать изъ вниманія, что, какъ бы хорошо ни произведена была операція сварки, прочность сваренныхъ кусковъ никогда не достигаетъ прочности цѣлаго желѣза; пластичность при сваркѣ также уменьшается. Эти обстоятельства подтверждаются результатами опытовъ Киркальди и Баушингера.

Чугуны, какъ было сказано, не свариваются, но въ случаѣ поломки чугунныхъ предметовъ, части ихъ соединяютъ припавкою, приѣмомъ, похожимъ на сварку. Для припавки части чугунаго издѣлія складываютъ вмѣстѣ съ свѣжими изломами, окружаютъ глиняной обмазкой и лютъ сверху расплавленный чугуны, выходящій снизу черезъ отверстіе въ глиняной обмазкѣ. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока поверхность твердаго чугуна не начнетъ плавиться въ точкахъ соприкосновенія съ жидкимъ чугуномъ. Въ этотъ моментъ задывливаютъ нижнее отверстіе глиною, и наполняютъ форму до верху.

Ковкій чугуны также не свариваются, но его можно паять.

*) Двѣ желѣзныя части превращенныя высокою ^{то} до тѣстообразной массы и сложенныя вмѣстѣ соединяются въ одну подъ вліяніемъ давленія (прокатки или удара молота). Это и есть свариваніе.

Пайка. Этотъ родъ соединенія примѣняется исключительно въ слесарныхъ и художественно-кузнечныхъ работахъ, рѣдко въ строительныхъ. Пайка заключается въ соединеніи двухъ металлическихъ частей помощью легкоплавкаго сплава—припой.. Желѣзо часто спаиваютъ мѣдью, также помощью трудноплавкаго припоя (сплавъ мѣди съ цинкомъ). Жестъ паяютъ помощью легкоплавкаго припоя (60 ч. олова, 40 ч. свинца; точка плавленія 180°).

Склепываніе. Главное средство для соединенія желѣзныхъ частей сооружений (для соединенія листового, фасоннаго и полосового желѣза —заклепки. Тамъ гдѣ невозможно или неудобна клепка, заклепки замѣняются болтами. Заклепки дѣлаются изъ мягкаго желѣза самого лучшаго качества. Винты употребляются также, когда матеріалъ соединяемыхъ частей не допускаетъ клепку; напр. при соединеніи желѣза и дерева, желѣза и камня, при соединеніи чугунныхъ частей (чугунныя издѣлія вслѣдствіе хрупкости ломались бы отъ сотрясеній при клепкѣ).

Для образованія разборнаго соединенія употребляютъ винты, болты и клинья. Болтовое (шарнирное) соединеніе часто примѣняется въ стропильныхъ фирмахъ. Клинья употребляются большею частью для соединеній круглаго желѣза.

Строеніе и свойство ковкаго желѣза.

Основная масса ковкаго желѣза—желѣзистъ. Углеродъ содержится главнымъ образомъ въ видѣ перлита. Фиг. 218, представляетъ снимокъ микроструктуры литого, а фиг. 219 сварочнаго желѣза (при увеличеніи 1:50). Свѣтлые штрихи—ферритъ, черные—перлитъ, а менѣе темные — шлаки. Въ сварочномъ желѣзѣ различаютъ обыкновенно волокнистое, иногда также крупно-зернистое и мелко-зернистое строеніе. Если желѣзо, бѣдное углеродомъ и не очень богатое фосфоромъ, долгое время подвергалось нагрѣванію при температурѣ, которая ниже температуры сварки, и затѣмъ проковкѣ или прокаткѣ, то получается металлъ съ волокнистымъ строеніемъ. Длинно волокнистое строеніе сварочнаго желѣза служитъ обыкновенно признакомъ его вязкости, а крупно-зернистое строеніе считаютъ признакомъ хрупкаго, склоннаго къ излому желѣза. При руководствѣ указанными признаками не слѣдуетъ однако упускать изъ вниманія, что и у волокнистаго желѣза въ томъ случаѣ, если изломъ произошелъ вслѣдствіе неожиданнаго и сильнаго напряженія, поверхность излома можетъ имѣть крупно-зернистое строеніе. Крупно-зернистость сварочнаго желѣза обуславливается обыкновенно значительнымъ содержаніемъ фосфора, который, какъ извѣстно, и является наиболѣе опаснымъ врагомъ вязкости. Наконецъ, если поверхность излома сварочнаго желѣза имѣетъ равномерное мелко-зернистое строеніе, то это указываетъ, что оно содержитъ мало фосфора, незначитель-

ное количество шлака и при сравнительно большемъ содержаніи углерода. Подобное желѣзо, отличаясь прочностью и твердостью, не обладаетъ въ то же время свойственной волокнистому желѣзу склонностью къ разрыву (Ледебуръ). Литое желѣзо почти всегда имѣетъ ясно зернистое строеніе. Какъ и у сварочнаго желѣза и здѣсь величина зеренъ зависитъ отъ химическаго состава и отъ условій термической обработки. Фосфоръ сообщаетъ желѣзу крупно-зернистость; вольфрамъ, наоборотъ, мелко зернистое строеніе. Болѣе мелко-зернистымъ становится металлъ также и съ увеличеніемъ углерода. На фиг. 220 изображено микроскопическое строеніе ковкаго литого, а на фиг. 221—сварочнаго желѣза, при увеличеніи 1:50. (Свѣтлыми штрихами обозначенъ ферритъ, чернымъ—перлитъ, а менѣе темнымъ—шлаки).

Объ важнѣйшихъ свойствахъ желѣза: ковкости и способности свариваться было уже сказано въ началѣ настоящаго отдѣла. Мы разсмотрѣли также и вліяніе на эти и инныя свойства заводскаго желѣза различныхъ постороннихъ примѣсей.

Ковкое желѣзо плавится при t° 1400—1500° и тѣмъ выше, чѣмъ менѣе содержится углерода. Удѣльный вѣсъ ковкаго желѣза 7,6—7,85.

Механическія свойства ковкаго желѣза.

(По Кирпичеву, Ледебуру, Лауэнштейну, Соверу, Ржешотарскому и пр.).

Прежде чѣмъ перейти къ описанію механическихъ свойствъ желѣза и способовъ ихъ опредѣленія, я считаю не лишнимъ напомнить въ краткихъ словахъ нѣкоторыя данныя науки о сопротивленіи матеріаловъ.

При сужденіи о прочности строительныхъ матеріаловъ приходится имѣть дѣло со слѣдующими физическими постоянными.

1) Если матеріалъ долженъ подвергаться растягивающимъ усиліямъ необходимо знать: а) сопротивленіе разрыву T_r , б) коэффициентъ упругости E , с) предѣлъ упругости T_e . Всѣ эти данныя опредѣляютъ степень сопротивленія матеріала лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда усилія прилагаются безъ ударовъ и сотрясеній. При наличности послѣднихъ сопротивленіе опредѣляется величинами живыхъ сопротивленій.

2) При дѣйстви сжимающихъ усилій сопротивленіе опредѣляется тѣми же данными, что и при растяженіи.

3) При изслѣдованіяхъ явленія изгиба необходимо знать: а) предѣлъ упругости, б) сопротивленіе излому, с) діаграмму изгиба.

4) При крученіи: а) коэффициентъ упругости при сдвигѣ, б) предѣлъ упругости, с) сопротивленіе разрушенію, d) діаграмму, выражающую зависимость между углами крученія и величинами крутящей пары.

5) При сдвигѣ необходимо знать еще сопротивленіе срѣзыванію и, наконецъ, во многихъ случаяхъ важно опредѣлять также и твердость матеріала.

На практикѣ, однако, за недостаткомъ времени обыкновенно нѣтъ возможности опредѣлять всѣ эти величины. Какъ при изготовленіи строительныхъ матеріаловъ, такъ и при ихъ приѣмкѣ ограничиваются обыкновенно опредѣленіемъ наиболѣе характерныхъ для даннаго матеріала свойствъ. Такъ для металловъ первенствующее значеніе имѣетъ сопротивленіе разрыву.

Явленія при разрывѣ и растяженіи тѣла характеризуются слѣдующими двумя равенствами:

$$\frac{P}{\omega} \leq T, \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ P — растягивающая сила, ω — поперечное сѣченіе растягиваемаго бруска, T — величина безопаснаго сопротивленія разрыву.

$$\delta = \frac{Pl}{E\omega}, \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ δ — упругое удлиненіе, получаемое подъ вліяніемъ силы P , E — коэффициентъ упругости при растяженіи.

Если на твердое тѣло въ какихъ-нибудь точкахъ дѣйствуютъ внѣшнія силы, то кромѣ всѣхъ прочихъ явленій, замѣчается еще измѣненіе его формы или такъ наз. деформація, напр. если къ бруску, закрѣпленному въ верхней точкѣ, подвѣсить снизу грузъ, то брусокъ удлинится на нѣкоторую величину. Но пока деформація тѣла не переходитъ извѣстныхъ границъ такъ наз. „*предѣла упругости*“, удлиненія каждый разъ исчезаютъ вслѣдъ за прекращеніемъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, и тѣло вновь принимаетъ свою первоначальную форму. Это свойство тѣлъ называется ихъ упругостью. Предѣлъ упругости опредѣляется на практикѣ числомъ килограммовъ, приходящихъ на квадр. сантиметръ поперечнаго сѣченія бруска. Онъ имѣетъ весьма важное значеніе во всѣхъ вопросахъ, касающихся прочности. Такъ, напр. законы растяженія, выражаемые равенствомъ 2, имѣютъ значеніе лишь до предѣла упругости, т. е. до этого предѣла получаемыя подъ дѣйствіемъ растягивающаго усилія удлиненія (упругія) прямо пропорціональны растягивающимъ силамъ и длинамъ брусковъ и обратно пропорціональны площадямъ поперечнаго сѣченія. Если же внѣшнія силы увеличатся до такой степени, что предѣлъ упругости матеріала будетъ перейденъ, то по прекращеніи ихъ исчезаетъ не все удлиненіе, но часть его остается въ брускѣ. Въ этомъ случаѣ полное удлиненіе будетъ состоять изъ двухъ частей — исчезающей послѣ прекращенія дѣйствія силы — это „*упругое удлиненіе*“, ибо оно характеризуетъ упругость тѣла, и остающееся въ брускѣ навсегда — это „*пластическое удлиненіе*“, ибо соответствуетъ понятію о пластичности, т. е. способности тѣла сохранять форму, которую ему насильно придали. На основаніи вышеприведеннаго „*предѣла упругости*“ можно характеризовать слѣдующимъ образомъ: это предѣльный грузъ, послѣ котораго прекращается пропорціональ-

ность между удлинёниями и силами. Продолжая увеличивать за предѣломъ упругости величину растягивающагося усилія, мы наконецъ дойдемъ до груза, при которомъ произойдетъ разрывъ бруска. Напряжение, выражаемое числомъ кгр. на кв. см. поперечнаго сѣченія бруска, при которомъ происходитъ его разрушеніе, называется „временнымъ сопротивленіемъ разрыву“ (T_r). Кроме временнаго сопротивленія, для практическихъ цѣлей имѣетъ еще огромное значеніе такъ наз. „*прочное или безопасное напряжение*“, т. е. то наибольшее напряжение, которое можно съ безопасностью допустить въ данномъ тѣлѣ. Отношеніе допускаемаго напряженія къ временному сопротивленію называется коэффициентомъ безопасности. Для его опредѣленія необходимо знать и предѣлъ прочности, ибо безопасное напряжение должно быть всегда меньше предѣла упругости, такъ какъ послѣ появленія остающихся измѣненій, тѣло уже не владѣетъ прежними свойствами *).

Основное правило, котораго слѣдуетъ придерживаться при сужденіи о прочности строительныхъ матеріаловъ, заключается въ слѣдующемъ: „никогда не долженъ быть перейденъ предѣлъ упругости“.

Въ постройкахъ для желѣзныхъ частей коэффициентъ безопасности принимаютъ отъ $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{6}$, т. е. берутъ величину допускаемаго напряженія съ 4 или 6 кратнымъ запасомъ прочности. Коэффициентъ упругости E (см. равенство 2) зависитъ только отъ свойствъ даннаго матеріала и вполне характеризуетъ его сопротивленіе растяженію, ибо зная его и величину растягивающей силы—можетъ найти удлинёніе, а когда дано удлинёніе—растягивающую силу, которая его произвела. Изъ формулы 2 имѣемъ:

$$E = \frac{Pl}{\delta \omega} = \frac{\left(\frac{P}{\omega} \right)}{\left(\frac{\delta}{l} \right)} = \frac{\Pi}{\Delta},$$

т. е. коэффициентъ упругости есть отношеніе растягивающей силы, приходящейся на единицу площади къ относительному удлинёнію. Относительное удлинёніе есть величина отвлеченная, слѣдовательно коэффициентъ упругости будетъ выражаться числомъ кгр. на кв. см. для всѣхъ матеріаловъ. Коэффициентъ упругости при растяженіи—коэффициенту упругости при сжатіи. Его можно характеризовать еще слѣдующимъ образомъ: коэффициентомъ упругости называется такое напряжение, при которомъ брусокъ могъ бы вытянуться или сжаться на свою собственную длину, въ предположеніи, что при этомъ предѣлъ упругости не будетъ перейденъ и матеріалъ допустить подобное измѣненіе формы, ибо при $\delta = 1$, $E = \frac{P}{\omega}$.

*) Разстраивается правильное соединеніе и связь частей, и вообще при переходѣ предѣла упругости мы приближаемся къ разрушающемуся усилію.

Изъ уравненія $\delta = \frac{Pl}{E\omega}$ видно, что чѣмъ болѣе E , тѣмъ менѣе относительное удлиненіе, получаемое брускомъ данной площади поперечнаго сѣченія при дѣйствіи данной силы, т. е. тѣмъ менѣе растяжимъ разсматриваемый матеріалъ. Поэтому коэффициентъ упругости служить основаніемъ при сравненіи растяжимости матеріаловъ и для тѣхъ частей построекъ, которыя должны очень мало измѣнять свою форму, слѣдуетъ выбирать матеріалъ съ наибольшимъ коэффициентомъ упругости. Въ слѣдующей таблицѣ приведены для важнѣйшихъ строительныхъ матеріаловъ по Лауэнштейну числовыя величины E , T_r и T_c и T , полученные изъ многочисленныхъ опытовъ.

МАТЕРІАЛЫ.	Модуль (коэф- фициентъ) упругости E .	Временное сопро- тивленіе T_r .		Предѣлъ упруг. T_e .		Прочнаго со- противленія T .	
		Растя- женію.	Сжатію.	Растя- женію.	Сжатію.	Растя- женію.	Сжатію.
Чугунъ	1000000	1200	6000	750	1500	250	500
Ковка желѣза	2000000	4000	3000	1500	1500	1000	1000
Сталь	2000000	6000	6000	2500	2500	1200	1200
Ель	120000	800	400	270	120	60	50
Сосна	120000	900	450	270	120	100	60
Дубъ и букъ	120000	1000	500	270	120	100	80
Стекло	750000	250	1500	—	—	—	75
Известнякъ	120000	—	300—500	—	—	—	30—50
Песчаникъ	100000	—	200—300	—	—	—	20—30
Кирпичъ	—	—	60—120	—	—	—	6—12
Известковый ра- створъ	—	—	40	—	—	—	4
Цементный ра- створъ	—	—	100—150	—	—	—	10—15
Грунтъ (хорошій)	—	—	—	—	—	—	2,5

Для поясненія какимъ образомъ пользоваться этою таблицею приво-
жу два простыхъ примѣра.

Задача 1. Стержень изъ кованого желѣза въ 500 см. длиною, имѣетъ въ поперечномъ сѣченіи прямоугольникъ со сторонами: 3 см. \times 5 см. и находится подъ дѣйствіемъ растягивающаго груза въ 12.000 кгр.

Найти величину удлиненія $\delta = \frac{Pl}{E\omega}$; $P=12.000$; $l=500$; $E=2.00.000$;

$$\omega=15; \text{ поэтому } \delta = \frac{12.000 \cdot 500}{15 \cdot 2.000.000} = 0,2 \text{ см.}$$

Задача 2. Какъ великъ долженъ быть діаметръ чугунаго сплош-
ного короткаго столба, дабы онъ выдержалъ безопасно нагрузку въ
20.000 кгр.

По уравненію 1 имѣемъ $T = \frac{P}{\omega}$; отсюда $\omega = \frac{P}{T}$; $P=20000$ кр.

T —безопасное сопротивленіе для чугуна (см. таблицу)=500, отсюда

$$\omega = \frac{20000}{500} = 40 \text{ кв. см.}; \quad \frac{\pi d^2}{4} = 40; \quad d = 7,14 \text{ см.}$$

Въ сравнительно недавнее время при испытаніяхъ металловъ опре-
дѣляли только ихъ сопротивленіе разрыву T_r . Въ настоящее время
однако общепризнано, что одно это опредѣленіе недостаточно для ха-
рактеристики матеріала въ смыслѣ пригодности его для строительныхъ
цѣлей, ибо величина T_r указываетъ только на сопротивленіе матеріала
спокойнымъ силамъ, но ничего не говоритъ о сопротивленіи ударамъ.
Данный металлъ можетъ прекрасно сопротивляться разрыву, но въ
тоже время легко разрушаться при внезапныхъ сотрясеніяхъ и ударахъ,
вслѣдствіе хрупкости. Необходимо еще знать достаточно ли матеріалъ
пластиченъ. Имѣемъ ли мы дѣло съ пластическимъ, или хрупкимъ ме-
талломъ. Мѣрою пластичности матеріала служитъ величина остающагося
удлиненія (пластическаго) при разрывѣ бруска A_r . Ее выражаютъ обык-
новенно въ его первоначальной длинѣ, если l —первоначальная длина,
 l' —послѣ разрыва, то $A_r = \frac{l'-l}{l} \times 100$. Сопротивленіе разрыву T_r и
мѣра пластичности A_r суть величины достаточныя въ большинствѣ слу-
чаевъ для характеристики желѣза, какъ строительнаго матеріала.

Пластичность—драгоцѣнное свойство металловъ. 1) Пластическіе
металлы значительно лучшихъ хрупкихъ сопротивляются ударамъ.
2) Такъ какъ пластическіе матеріалы передъ разрушеніемъ замѣтно на
глазъ измѣняютъ свою фрму, то это обстоятельство даетъ возможность
принять своевременно мѣры для предупрежденія несчастій. Подобное
явленіе не имѣетъ мѣсто при матеріалахъ хрупкихъ. 3) Лишь пласти-
ческій матеріалъ можетъ выдерживать нѣкоторые приемы, часто при-
мѣняемые при изготовленіи желѣзныхъ издѣлій: загибъ листовъ, обра-
зованіе флянсовъ и др. 4) Пластичность металла весьма облегчаетъ
сборку сложныхъ предметовъ. 5) При непластичныхъ матеріалахъ, въ

тѣлахъ сложной формы, могутъ появиться въ нѣкоторыхъ мѣстахъ напряженія, опасныя для прочности.

Такимъ образомъ, лучший сортъ металла будетъ тотъ, который, обладая большимъ сопротивленіемъ разрыву, въ то же время даетъ и наибольшую цифру пластическаго удлиненія. Къ сожалѣнію согласовать эти два требованія затруднительно, ибо въ большинствѣ случаевъ тѣ вліянія, которыя увеличиваютъ сопротивленіе разрыву, уменьшаютъ пластичность. Извѣстно, напр., что проковка на холоду, вытягиваніе въ проволоку, холодная прокатка, закаливаніе стали въ водѣ или въ маслѣ увеличиваютъ сопротивленіе разрыву, но всѣ эти матеріалы въ то же время уменьшаютъ пластичность. Вслѣдствіе этого обстоятельства приходится обыкновенно для строительныхъ цѣлей выбирать матеріалъ среднихъ качествъ, не очень крѣпкій, но за то достаточно пластичный. Лучшие сорта сварочнаго желѣза: „Демидовское“ и „Йоркширское“ имѣютъ не особенно высокое сопротивленіе разрыву, но зато они въ значительной степени обладаютъ пластичностью *).

Профессоръ Кирпичевъ приводитъ слѣдующіе примѣры матеріаловъ, представляющіе замѣчательную комбинацію высокихъ величинъ T_r и A_r . Сюда относятся: 1) сплавъ желѣза съ никкелемъ, 2) марганцовая сталь Гадфильдская (14% Mn) и алюминиевая бронза (90% Cu и 10% Al). Напр. никкелевая сталь (25% Ni) при 0,8% углерода даетъ послѣ заковки въ маслѣ $T_r = 8000$ кгр. на кв. см. $A_r = 60\%$.

По остроумному замѣчанію В. Л. Кирпичева, величины сопротивленія разрыву T_r и пластичность A_r , представляютъ собою нѣчто въ родѣ механическаго имени для даннаго металла.

Факторы, вліяющіе на величины T_r и A_r .

Вліяніе постороннихъ примѣсей. Мы уже имѣли случай говорить о вліяніи различныхъ примѣсей на свойства желѣза. Ледебуръ даетъ слѣдующее основное правило относительно вліянія химическаго состава на механическія свойства желѣза. „Вообще, наиболѣе чистое желѣзо обладаетъ и наибольшею вязкостью, но относительно незначительною твердостью; примѣси постороннихъ веществъ уменьшаютъ вязкость, твердость же первоначально возрастаетъ, пока содержаніе постороннихъ тѣлъ не достигнетъ нѣкотораго предѣла; послѣ же перехода за этотъ предѣлъ начинаетъ уменьшаться и твердость, причемъ пригодность желѣза уменьшается во всѣхъ отношеніяхъ“. Мы знаемъ, что не только углеродъ, но даже кремній, мар-

*) Будетъ ли болѣе цѣлесообразно употребить весьма твердое желѣзо съ среднею или незначительною вязкостью, или же весьма вязкое, но въ слѣдствіе этого и менѣе крѣпкое желѣзо, находится, разумѣется, въ зависимости отъ рода примѣненія.

ганецъ и фосфоръ увеличиваютъ (по крайней мѣрѣ въ извѣстныхъ предѣлахъ) прочность желѣза и стали. Существуютъ многочисленныя попытки построить формулы, выражающія соотношеніе между химическимъ составомъ и разрывающимъ усиліемъ. Имѣя подобную формулу, можно было бы не прибѣгая къ прямымъ опытамъ, но помощью вычисленія опредѣлить величину разрывающаго усилія въ зависимости отъ содержанія углерода и другихъ примѣсей заводского желѣза. Но принимая во вниманіе, что механическіе свойства желѣза зависятъ не только отъ % содержанія углерода и другихъ примѣсей, но и отъ его формы, и что эти свойства мѣняются въ зависимости отъ различныхъ обстоятельствъ, сопровождающихъ обработку металла (t^0 нагрѣва, продолжительность его, ковка, прокатка и т. п.) представляется сомнительнымъ, чтобы вообще возможно было отыскать общій законъ, выражающій зависимость между механическими свойствами металла и его химическимъ составомъ. Правда, въ частныхъ случаяхъ, когда имѣемъ дѣло съ болѣе или менѣе однороднымъ матеріаломъ, получающимся при однихъ и тѣхъ же условіяхъ, подвергающимся однообразной обработкѣ, подобныя формулы могутъ оказать немаловажную услугу. Такъ на нѣкоторыхъ нѣмецкихъ и французскихъ заводахъ пользуются формулами Юптнера фонъ Йонсторфа для опредѣленія качества стали, вмѣсто прямого механическаго испытанія и лишь по временамъ подвергаютъ ихъ контрольному разрыву.

Вотъ эти формулы:

$$p = A + \frac{20}{3} C + \frac{20}{7} Si + \frac{10}{7} Mn$$

$$q = B - (47 C + 20 Si + 10 Mn)$$

Здѣсь подъ химическими формулами слѣдуетъ подразумѣвать % содержанія углерода кремнія и марганца, а А и В—двѣ постоянныя зависящія отъ термическихъ и механическихъ условій обработки стали, отъ иныхъ ея примѣсей и т. п. Для мартеновской стали $A=2,50$ тоннъ, $B=60\%$; p —представляетъ собою разрывающее усиліе въ тоннахъ на 1 кв. см.; q —суженіе поперечнаго сѣченія при разрывѣ въ % первоначальной пластичности. На желѣзнодорожномъ заводѣ въ Пейнѣ пользуются формулою Юптнера, вводя въ нее также и фосфоръ.

$$p = A + \frac{20}{3} C + \frac{20}{7} Si + \frac{10}{7} Mn + \frac{10}{4} P.$$

Вліяніе химическаго состава на пластичность. Опыты указываютъ, что на пластичность металловъ всѣ примѣси дѣйствуютъ понижающимъ образомъ. Это видно и при разсмотрѣніи формулы Deshayes для стали завода Terre-Noire.

$$A_r = 42 - 36C - 5,5Mn - 6Si,$$

гдѣ A_r удлиненіе при разрывѣ въ % первоначальной длины $=100$ мм., а С, Мп и Si вѣсовые проценты соотвѣствующихъ примѣсей.

ЗАКОНЪ РОБЕРТСЪ-ОСТЕНА.

Примѣшивая къ золоту всегда одно и тоже количество (0,2%) примѣси Робертсъ-Остенъ вывелъ слѣдующій законъ. Если атомный объемъ примѣшиваемаго элемента меньше объема атома золота, то примѣсъ увеличиваетъ сопротивленіе золота разрыву и наоборотъ, если атомный объемъ примѣси больше, чѣмъ объемъ атома *) золота, то примѣсъ уменьшаетъ сопротивленіе золота разрыву. Законъ Робертса-Остена пока еще нельзя считать вполне доказаннымъ, но если бы онъ подтвердился и для другихъ металловъ, напр. для желѣза, то мы имѣли бы чрезвычайно легкій способъ судить объ вліяніи различныхъ примѣсей на сопротивленіе металла разрыву.

Элементы.	Ихъ атом- ные объемы.	Элементы.	Ихъ атом- ные объемы.	Элементы.	Ихъ атом- ные объемы.
Rb . . .	56,1	Mg . . .	13,8	Pt . . .	9,3
K . . .	45,4	P . . .	13,5	Ru . . .	9,2
Sz . . .	34,9	As . . .	13,2	Pd . . .	9,2
Ca . . .	25,4	Cd . . .	12,9	Zu . . .	9,1
Na . . .	23,7	Zi . . .	11,9	Rd . . .	8,6
Zr . . .	21,7	Si . . .	11,2	Cr . . .	7,7
Bi . . .	21,1	Mo . . .	11,1	Fe . . .	7,2
Sb . . .	18,2	Al . . .	10,7	Cu . . .	7,1
Pb . . .	18,1	Au . . .	10,2	Mn . . .	6,9
Tl . . .	17,1	Ag . . .	10,2	Co . . .	6,9
Se . . .	16,9	Wm . . .	9,6	Ni . . .	6,7
Sn . . .	16,1	Ir . . .	9,3	B . . .	4,7
S . . .	16,7	Os . . .	9,3	C . . .	3,6

*) Атомные объемы получаются, раздѣляя атомный вѣсъ тѣла на ихъ плотность относительно воды.

Такъ, изучая таблицу А. не трудно усмотрѣть, что лишь углеродъ долженъ замѣтно увеличить прочность желѣза. Примѣсь мѣди, марганца, кобальта, никкеля также должны увеличить прочность, но не въ столь замѣтныхъ размѣрахъ, (ихъ атомные объемы близки къ объему атома желѣза). Своимъ закономъ Робертсъ-Остенъ желалъ объяснить вліяніе на прочность металловъ слѣдовъ примѣсей (напр. 0,1% и менѣе). Онъ предполагаетъ, что въ этомъ случаѣ атомы примѣсей находятся въ свободномъ состояніи между атомами металла. Если атомы примѣси имѣютъ значительно большій объемъ, чѣмъ атомы металла, то они располагаясь между атомами послѣдняго, раздвигаютъ ихъ, ослабляя этимъ связь между частицами матеріала.

Вліяніе температуры на T_r и A_r и другія механическія свойства. Выводы большинства изслѣдователей доказываютъ, что при нагрѣваніи отъ нуля до 100° или немного болѣе, замѣтнаго измѣненія механическихъ свойствъ желѣза не происходитъ.

Вліяніе возвышенной температуры. Изъ разсмотрѣнія кривой (ф. 222), изображающей результаты опытовъ Ле-Шателье, легко усмотрѣть, что при нагрѣваніи отъ обыкновенной температуры до начала красного каленія (525°) сопротивление разрыву сначала возрастаетъ, затѣмъ послѣ maximum'a, заключающагося между 100° и 300°, быстро падаетъ. Наоборотъ, пластичность сначала падаетъ, достигаетъ minimum'a между 100° и 300° и затѣмъ вновь возрастаетъ. Это значитъ, что между 100 и 300° существуетъ температура, при которой желѣзо становится жесткимъ и хрупкимъ, оно дѣлается, какъ говорятъ, „синеломкимъ“ *). Свойство это становится замѣтнымъ при той температурѣ, когда желѣзо покрывается синею побѣжалостью. При охлажденіи до обыкновенной t^0 —синеломкость исчезаетъ, если только оно не было проковано при температурѣ синяго цвѣта. Въ этомъ случаѣ желѣзо и по охлажденіи остается хрупкимъ. Кромѣ тогоковка при t^0 синяго цвѣта можетъ обусловить поломку обрабатываемаго предмета. Разсматривая далѣе кривую, мы видѣли, что при нагрѣваніи выше 300° сопротивление желѣза разрыву быстро падаетъ, а пластичность увеличивается. При 500° С. прочность равна едва половинѣ прочности при обыкновенной температурѣ, при 800° (красное каленіе) прочность не болѣе прочности свинца или олова и приближается наконецъ, при желтомъ или бѣломъ каленіи въ зависимости отъ химическаго состава къ нулю, когда желѣзо переходитъ въ расплавленное состояніе. Это свойство желѣза становится хрупкимъ при t^0 100°—300° и слабымъ при красномъ каленіи, особенно слѣдуетъ помнить при уходѣ за паровыми котлами. Если уровень воды котла понизится значительно, то легко можетъ явиться перегрѣвъ желѣза

*) Синеломкость еще тѣмъ опаснѣе, что образующіяся трещины часто столь тонки, что незамѣтны для глаза.

и разрывъ листа. Затѣмъ, такъ какъ температура пара въ котлахъ заключается въ промежуткѣ между 300° — 100° , то даже и самое лучшее желѣзо, можетъ оказаться хрупкимъ. (Кириичевъ).

Ковкое желѣзо, подвергнутое въ теченіе долгаго времени дѣйствію возвышенной температуры (близкой къ плавленію) безъ послѣдующей механической обработки (проковка, прокатка) претерпѣваетъ ухудшеніе въ своихъ качествахъ, становится хрупкимъ. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что желѣзо „пережжено“. Подробнѣе объ этомъ явленіи см. ниже: „вліяніе термической обработки на свойства стали“ и теорія Чернова.

Вліяніе низкой температуры. Результаты опытовъ, произведенныхъ съ цѣлью опредѣлить вліяніе сильныхъ морозовъ на механическія свойства желѣза, не вполне согласны между собою. Можно съ нѣкоторою достовѣрностью принять, что тогда какъ прочность при совершенно спокойной нагрузкѣ и предѣлъ упругости при пониженіи температуры ниже точки замерзанія скорѣе увеличиваются, чѣмъ уменьшаются,—вязкость и способность выдерживать сотрясенія съ пониженіемъ температуры уменьшаются, а хрупкость увеличивается. Фактъ высокой важности для желѣзнодорожнаго дѣла. На нѣмецкихъ напр. желѣзныхъ дорогахъ въ 1887 г. наблюдалось 3552 поломки шинъ, изъ которыхъ 2582 произошли въ 6 зимнихъ мѣсяцевъ и лишь 970—въ лѣтніе мѣсяцы. По Зандбергу рельсы, которыя подвергались испытаніямъ на сопротивленіе ударомъ при 10° мороза, посредствомъ падающей бабы, въ среднемъ выдерживали лишь 0,28 той работы, которую они выдерживали лѣтомъ.

ЗАКАЛИВАНІЕ СТАЛИ. Процессъ закаливанія состоитъ въ быстромъ охлажденіи, нагрѣтаго до высокой температуры (раскаленнаго) металла. При сравненіи изломовъ простымъ глазомъ, уже ясно что закалка измѣняетъ строеніе металла. Сталь незакаленная имѣетъ сравнительно грубую кристаллизацию, а закаленная—шелковистое, почти аморфное сложеніе. Измѣняются также и элементы структуры. Незакаленная сталь состоитъ изъ феррита, перлита и карбида (мягкая). Сталь средней твердости главнымъ образомъ изъ перлита, а твердая (1° С.) не содержитъ феррита, но состоитъ изъ перлита и карбида. Закаленная же сталь перлита и желѣзита не содержитъ, но главнымъ образомъ изъ закалита. При закаливаніи углеродъ карбида превращается въ углерода закала. Фиг. 223 изображаетъ незакаленную сталь, ф. 224 закаленную. При такомъ измѣненіи строенія и структуры стали при закалкѣ, разумѣется, не могутъ остаться безъ измѣненія и ея механическія свойства. И дѣйствительно, послѣ закаливанія сопротивленіе разрыву значительно (иногда вдвое) увеличивается; также повышается твердость и предѣлъ упругости, но пластичность сильно понижается. А это значитъ, что металлъ, бывшій мягкимъ и пластичнымъ, становится послѣ закалки твердымъ, жесткимъ и хрупкимъ. Дѣйствіе закалки тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ быстрѣе происходитъ отнятіе тепла. Холодная во-

да сообщает значительную закалку; болѣе умѣренную сообщаетъ масло, какъ жидкость мало подвижная и обладающая сравнительно съ водою меньшею теплопроводностью. Наименьшую закалку даютъ ванны изъ расплавленного свинца, цинка и др. металловъ. Прибавка къ водѣ мыла или известкового молока уменьшаетъ ея закаливающее дѣйствіе; оно увеличивается отъ прибавки къ водѣ поваренной соли или небольшого количества сѣрной кислоты. Собственно закаливаться способно всякое углеродистое желѣзо, но особенно замѣтной становится закалка при содержаніи углерода съ 0,5% и выше. Такое ковкое желѣзо условились называть сталью, а потому и явленія закалики обыкновенно относятъ къ стали.

Намъ извѣстно, что углеродъ въ ковкомъ желѣзѣ содержится въ различныхъ видахъ: (графитъ, углеродъ карбида, закала и т. д.), происхождение которыхъ зависитъ отъ способа охлажденія. Извѣстно также, что наибольшее вліяніе на твердость именно и оказываетъ углеродъ, но степень повышенія твердости находится въ зависимости отъ вида углерода. Наибольшее повышеніе твердости получается, когда углеродъ, находится въ состояніи углерода закала (въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ), наименьшее — отъ графита. При свѣтло-красномъ каленіи весь углеродъ находится въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ. Если раскаленное при этой t^0 желѣзо будетъ быстро охлаждено погруженіемъ его въ холодную воду, то большая часть углерода останется въ связанномъ состояніи (въ видѣ углерода закала) и придаетъ желѣзу значительную твердость. Если же, наоборотъ, медленно охлаждать желѣзо обыкновеннымъ образомъ, то при t^0 между 600 и 700° С. происходитъ разложеніе желѣза и углерода. Одновременно желѣзо становится мягче. На этомъ явленіи основана операція „отжиганія“ стали. Подобное же явленіе, т. е. разложеніе соединенія желѣза съ углеродомъ, произойдетъ, если начать вновь нагрѣвать сталь уже закаленную охлажденіемъ въ водѣ. Уже при 200° С. начинается разложеніе соединенія желѣза съ углеродомъ и, чѣмъ дольше продолжается нагрѣваніе, чѣмъ выше при этомъ температура, тѣмъ бѣднѣе становится основная масса углеродомъ закала, а слѣдовательно и тѣмъ мягче дѣлается сталь. Выше было уже сказано, что переходъ углерода въ связанную форму происходитъ лишь при t^0 болѣе 600° С.; отсюда ясно, что если закаленную сталь нагрѣть ниже этой t^0 и затѣмъ опустить въ воду, чтобы она не стала слишкомъ мягкой, то новой закалики не произойдетъ. Слѣдовательно дѣйствіе сильнаго охлажденія (закаливаніе) можетъ быть ослаблено или совершенно уничтожено послѣдующимъ умѣреннымъ нагрѣваніемъ. Эта операція называется „отпускомъ стали“.

Иногда случается послѣ закалики стали въ маслѣ или въ металлическихъ ваннахъ (медленная закалка), что закаленный предметъ оказывается, наоборотъ, болѣе пластичнымъ и мягкимъ чѣмъ незакаленный. Такой результатъ получается при закаливаніи въ маслѣ крупныхъ,

массивныхъ предметовъ и этимъ явленіемъ, называемымъ „отрицательною закалкой“ пользуются для улучшенія ихъ качествъ.

ОТЖИГАНІЕ. Если сталь нагрѣтъ до вишнево-краснаго каленія ($700—800^{\circ}$) и затѣмъ очень медленно охлаждать (сутки и болѣе), то получаемыя металломъ свойства будутъ противоположны тѣмъ, которыя приобрѣтаются при закаливаніи: 1) сопротивление разрыву уменьшается, 2) предѣлъ упругости и твердость сильно понижаются, 3) пластичность сильно увеличивается. При „отжигѣ“ углеродъ закала переходитъ въ углеродъ отжига и также уничтожаются внутреннія напряжения.

Отжиганіемъ часто пользуются напр. для улучшенія свойства фасонныхъ и стальныхъ отливокъ. Въ крупныхъ отливкахъ часто имѣютъ мѣсто опасныя внутреннія натяженія, уничтожающіяся отжиганіемъ. Для литого металла пробивка дыръ и рѣзка ножницами, дѣйствуя подобно закалкѣ вызываетъ мѣстную весьма вредную хрупкость металла. Возвратить металлу вязкость можно способомъ отжиганія. Также отжигаютъ проволоку послѣ ея прокатки. Ф. 225 и 226 изображаютъ микроструктуры закаленной и отожженной стали, а ф. 227 микроскопическое строеніе той же стали неотожженной.

Изъ вышесказаннаго ясно, что обѣ операціи: закалка и отпускъ стали дополняютъ другъ друга, и, комбинируя ихъ надлежащимъ образомъ, возможно придавать стальнымъ предметамъ опредѣленную, наиболѣе подходящую для данной цѣли степень твердости, что особенно важно при изготовленіи инструментовъ. Для опредѣленія температуры отпуска закаленной стали, необходимой для полученія желаемой твердости, служатъ такъ наз. побѣжалости т. е. цвѣтовые эффекты, появляющіеся на гладкой, очищенной отъ окалины поверхности стали между $200—370^{\circ}$ С. вслѣдствіе интерференціи свѣтовыхъ лучей въ образующейся отъ нагрѣванія тончайшей пленкѣ окиси желѣза. Окраски эти появляются въ слѣдующемъ порядкѣ: свѣтло желтая, (t° немного выше 200°) темно-желтая, темно-красная, пурпурно и карминно-красная, фіолетовая, васильково-голубая, свѣтло-голубая, сѣрая, (температура немного выше 300° С.).

Отпускъ стали, слѣдующій за закалкой можетъ быть произведенъ двояко. Въ первомъ случаѣ сталь охлаждаютъ въ закаливающей жидкости до температуры ниже температуры побѣжалостей, затѣмъ вторично нагрѣваютъ до появленія желаемаго побѣжалаго цвѣта и снова охлаждаютъ. Во второмъ случаѣ вынимаютъ изъ закаливающей жидкости еще горячую сталь и ждутъ появленія желаемой побѣжалости, послѣ чего вновь охлаждаютъ до конца въ жидкости.

Вліяніе механической обработки на свойства ковкаго желѣза.

Вслѣдствіе механической обработки (проковки, прокатки, прессования и т. д.) происходитъ измѣненіе механическихъ свойствъ желѣза,

различное впрочемъ, въ зависимости отъ температуры, при которой производились обработки (см. ниже теорія Чернова). Правильнымъ образомъ произведенная механическая обработка нагрѣтаго при надлежащей температурѣ желѣза существеннымъ образомъ улучшаетъ качества желѣза: прочность и вязкость возрастаютъ. Холодная обработка, то есть прокатка и проковка при обыкновенной температурѣ повышаетъ предѣлы упругости и твердости, но вязкость и ковкость уменьшаются. Слѣдовательно холодная обработка дѣйствуетъ на подобіе закалки. Путемъ накаливанія возможно вновь возвратитъ желѣзу первоначальныя механическія свойства, измѣнившіяся вслѣдствіе холодной механической обработки.

При сварочномъ желѣзѣ величины сопротивленій механическимъ усилямъ зависятъ также и отъ направленія дѣйствующихъ силъ. Такъ напр. сопротивленіе разрыву сварочнаго желѣза всегда больше по направленію прокатки (по длинѣ волоконъ). Сопротивленіе разрыву и пластичность полосового и круглаго сварочнаго желѣза по опытамъ То-

T_r A_r

- а) При растяженіи вдоль волоконъ . : 3460 13,5%
 б) При растяженіи поперекъ волоконъ : 2430 1,1%

Шлаки, заключенные между частицами желѣза, уменьшаютъ силу сдѣвленія между послѣдними. Къ тому же выводу пришелъ Томасъ и послѣ опытовъ надъ фасоннымъ сварочнымъ желѣзомъ. (См. табл.).

Вдоль прокатки.		Поперекъ прокатки.	
T_r	A_r	T_r	A_r
3736	11,3%	2490	1
4250	10,0	2390	1,0
3500	12,8	2190	0,4

Отсюда слѣдуетъ, что въ постройкахъ полосы желѣза не должны подвергаться растяженію поперекъ волоконъ. Можно принять, что сопротивленіе полосового и круглаго сварочнаго желѣза по направленію прокатки заключается между 3500 и 4500 кгр. на кв. см. Для листового желѣза можно принять въ среднемъ сопротивленіе вдоль прокатки 3600 кгр., сопротивленіе поперекъ 3200 кгр., пластичность вдоль прокатки 5%; пластичность поперекъ 1—2%. И здѣсь существуетъ разница, но она не такъ велика, какъ для полосового и фасоннаго желѣза. Вслѣдствіе присутствія шлаковъ и въ листовомъ сварочномъ желѣзѣ, сопро-

тивленіе его срѣзыванію параллельно слоистости листа вдвое менѣ сопротивленія по другимъ направленіямъ. Сопротивленіе проволоки разрыву тѣмъ больше, чѣмъ тоньше проволока.

При діаметрѣ проволоки = 0,72 миллим. $T_r = 6400$

„ „ „ „ = 0,25 „ „ $T_r = 9400$

„ „ „ „ = 0,10 „ „ $T_r = 12300$

Литое желѣзо и сталь болѣе изотропны, чѣмъ сварочное, вслѣдствіе отсутствія въ первыхъ шлакового скелета; по этой же причинѣ въ литомъ металлѣ нѣтъ той слабости по извѣстнымъ направленіямъ, которыя замѣчаются въ сварочномъ металлѣ. Сортавъ литого металла существуетъ великое множество. Достаточно сказать, что сопротивленіе разрыву измѣняется въ предѣлахъ отъ 3500 до 30000 кгр. на кв. см., а удлиненіе при разрывѣ отъ 35% до 1% (Кирпичевъ). Это зависитъ отъ той легкости, съ какой при процессахъ бессемерованія и мартенизаціи возможно получать металлъ съ желаемымъ содержаніемъ углерода, а мы уже знаемъ, что отъ относительнаго содержанія углерода главнымъ образомъ и зависятъ тѣ или другія свойства желѣза. Это разнообразіе въ свойствахъ литого металла даетъ возможность примѣнять его для разнообразныхъ цѣлей, какъ это видно изъ слѣдующей таблицы.

Назначеніе металла.

Содержаніе углерода.

Для котловъ и обыкновенныхъ кузнечныхъ подѣлокъ 0,1 — 0,25%

„ мостовъ 0,25 — 0,2 „

„ рельсъ 0,3 — 0,4 „

„ вагонныхъ осей и пушекъ 0,3 — 0,5 „

На кантовки, матрицы, молота и столовые ножи 0,6 — 0,7 „

На монетныя чеканы, зубила, осадочные молота,

штампы, инструменты для обработки дерева, свер-

ла для мягкихъ камней 0,7 — 0,8 „

На долота, большіе рѣзцы, сверла для камней 0,8 — 0,9 „

Для большихъ токарныхъ инструментовъ и сверлъ, и

пилъ 0,9 — 1 „

На токарные и строгальные инструменты для стали,

тонкіе напильники и токарные рѣзцы 1 — 1,2 „

Для бритвъ, пилъ для металловъ и т. п. 1,2 — 1,4 „

Наконецъ на инструменты для обработки твердыхъ отливокъ и другихъ весьма твердыхъ веществъ идетъ такъ наз. вольфрамовая сталь съ 2—4% вольфрама, при 1,3—1,0% углерода.

Вліяніе пробивки отверстій и заклепыванія. Для литого и отчасти и для сварочнаго металла пробивка дыръ посредствомъ штемпеля,

также рѣзка ножницами, дѣйствуя подобно закалкѣ вызываетъ мѣстную, весьма вредную хрупкость металла.

Если отверстія производятся не пробиваніемъ, а высверливаніемъ, то описаннаго выше вреднаго вліянія на матеріалъ не происходитъ. Вслѣдствіе этого желательно при изготовленіи клепаныхъ конструкцій (паровыхъ котловъ, мостовыхъ фермъ, стропилъ) дѣлать отверстіе сверленіемъ, или по крайней мѣрѣ расширять пробитое отверстіе затѣмъ сверленіемъ.

Вліяніе величины и профили поперечнаго сѣченія. Желѣзо (особенно сварочное) съ меньшимъ поперечнымъ сѣченіемъ обладаетъ вообще большимъ коэффициентомъ прочности, упругости и вязкости, чѣмъ предметы съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ. Это обстоятельство становится вполне понятнымъ, если вспомнимъ, что механическія свойства вообще улучшаются отъ механической обработки. Изъ опытовъ произведенныхъ по настоянію союза нѣмецкихъ желѣзнодорожниковъ, съ стержнями квадратнаго, прямоугольнаго и круглаго сѣченія, обнаружилось, что форма поперечнаго сѣченія вообще оказываетъ незначительное вліяніе на сопротивляемость разрыву.

Вліяніе повторяющихся напряженій. На основаніи опытовъ Велера, Шпангенберга и Баушингера можно вывести слѣдующія правила. 1) Изломъ желѣзнаго издѣлія можетъ произойти вслѣдствіе часто повторяющихся напряженій, изъ которыхъ каждое въ отдѣльности менѣе величины разрушающаго усилія. 2) Даже при безконечномъ числѣ напряженій изломъ не произойдетъ, если усилія не превосходили извѣстнаго предѣла. Ледебуръ полагаетъ, что выведенное Баушингеромъ на основаніи его изслѣдованій по отношенію къ закону Велера правило: „Часто миллионъ разъ повторенное напряженіе не влечетъ за собой никакого измѣненія въ структурѣ желѣза и стали“ можетъ быть признано навсегда неоспоримымъ.

Ломкость отъ протравъ. Если желѣзо подвергается дѣйствію слабыхъ кислотъ (сѣрная, соляная) причемъ выдѣляется водородъ, то имѣетъ мѣсто потеря въ гибкости и способности выдерживать изгибающія усилія. Вѣроятно причиною „ломкости отъ протравъ“ является водородъ, который въ моментъ выдѣленія поглощается желѣзомъ.

Вліяніе термической обработки на свойства стали.

(Теорія проф. Чернова).

Въ 1868 г. нашъ извѣстный металлургъ, профессоръ Д. К. Черновъ сдѣлалъ докладъ техническому обществу подъ заглавіемъ „Критическій обзоръ статей гг. Лаврова и Калакуцаго о стали и стальныхъ орудіяхъ“ и т. д., въ которомъ изложилъ свою самостоятельную теорію относительно измѣненій структуры стали въ зависимости отъ

тѣхъ термическихъ условій, которымъ подвергается металлъ, въ періодъ своей обработки. Въ общихъ чертахъ теорія Д. К. Чернова состоитъ въ слѣдующемъ. Какъ извѣстно, наилучшею сталью въ смыслѣ строительнаго матеріала будетъ сталь, которая при значительной твердости имѣетъ въ то же время и высокій предѣлъ упругости по отношенію къ сопротивленію разрыву, т. е. также и болѣе или менѣе значительную вязкость. Многочисленные опыты доказали, что подобная сталь имѣетъ мелкое зерно и однородную структуру. При какихъ же условіяхъ термической обработки получаютъ издѣлія, удовлетворяющія этимъ требованіямъ? Для уясненія этого вопроса проф. Черновъ сравниваетъ измѣненія, происходящія въ структурѣ стали во время термической обработки, съ явленіемъ кристаллизаціи солей, напр. квасцовъ. Если нагревать кристаллы квасцовъ въ стеклянной колбѣ при отсутствіи воды, то при извѣстной температурѣ кусокъ квасцовъ дѣлается какъ бы смоченнымъ; хорошо видимые до того кристаллы теперь будутъ казаться склеенными одинъ съ другимъ и, наконецъ, при точкѣ плавленія получается жидкость, представляющая растворъ кристалловъ квасцовъ въ ихъ кристаллизаціонной водѣ. Если теперь дать этой густой массѣ охладиться, то она вновь закристаллизуется и въ зависимости отъ условій, въ которыхъ будетъ происходить охлажденіе, можно будетъ получать кристаллы различныхъ величинъ, отъ наиболѣе крупныхъ до едва замѣтныхъ простымъ глазомъ. Если охлажденіе происходитъ очень медленно въ условіяхъ полного покоя, то получаютъ наиболѣе крупные и наиболѣе правильные кристаллы. Если охлажденіе совершается все время медленно, но массу постоянно поддерживать въ движеніи, то образующіеся кристаллы будутъ очень мелки. Если охлажденіе происходитъ быстро, но безъ движенія, образуются также мелкіе кристаллы. Наконецъ, наиболѣе неблагоприятныя условія для кристаллизаціи представляетъ внезапное охлажденіе, сопровождаемое энергичнымъ и непрерывнымъ перемѣшиваніемъ. Тѣ же явленія происходятъ и въ стали, нагрѣтой выше извѣстной температуры.

Если сталь, расплавленную въ тиглѣ постоянно перемѣшивать во все время охлажденія, такъ что всѣ ея частицы будутъ въ движеніи, то слитокъ по охлажденіи будетъ имѣть очень мелкое кристаллическое сложеніе. Если, напротивъ, металлъ охлаждается въ абсолютномъ покоѣ, болванка представитъ прекрасно сформированные крупные кристаллы. На основаніи своихъ изслѣдованій проф. Черновъ доказалъ, что каждый сортъ стали, имѣетъ двѣ характерныя температуры, такъ наз. критическія, названныя имъ точками а и б. На линіи (фиг. 228), отложены какъ на шкалѣ термометра точки, соотвѣтствующія этимъ температурамъ а и б и, кромѣ того, точка о, соотвѣтствующая нулю градусовъ, и с—температура плавленія даннаго сорта стали. Точки а и б не постоянны на шкалѣ, но перемѣщаются сообразно съ качествомъ стали. Эти перемѣщенія для чистой стали зависятъ только отъ

количества содержащегося въ ней углерода. Чѣмъ тверже сталь, тѣмъ больше эти точки приближаются къ точкѣ α и наоборотъ.

Для твердой и полутвердой стали α соответствуетъ температурѣ вишневаго каленія, а β —неярко свѣтло-краснаго каленія. Критическая температура α характеризуется тѣмъ, что сталь, нагрѣтая ниже этой температуры не принимаетъ уже закалки; а точка β понимается какъ наименьшая температура, ниже которой уже не происходитъ измѣненія структуры стали какъ при медленномъ, такъ и при быстромъ охлажденіи. Проф. Черновъ уподобляетъ здѣсь роль углерода въ стали—кристаллизаціонной водѣ въ соляхъ и принимаетъ, что лишь начиная отъ $t^\circ \beta$ углеродъ начинаетъ растворять твердый элементъ соли. Если это такъ, то ясно, чтобы возможно было вообще измѣненіе структуры стали, т. е. передвиженіе ея зеренъ, необходимо нагрѣть ее выше β ; а для того чтобы получить сталь съ крупно кристаллическимъ строеніемъ, т. е. другими словами сталь плохихъ качествъ, нужно издѣлю, нагрѣтому выше температуры β ,—предоставить спокойно и медленно охлаждаться, и, наоборотъ, мѣшать правильной кристаллизаціи при желаніи получить мелкокристаллическую сталь.

Въ примѣрѣ съ квасцами мы видѣли, что для этой цѣли служить энергичное перемѣшиваніе раствора, полученнаго плавленіемъ квасцовъ въ ихъ кристаллизаціонной водѣ. При обработкѣ стальныхъ издѣлій роль перемѣшиванія играетъ проковка фабрикаата, нагрѣтаго выше температуры β . Ковка при t° вышнихъ β служитъ не только для придаенія болванкѣ той или другой формы, но мѣшаетъ также частицамъ стали собираться въ крупные и правильно организованные кристаллы. И если продолжать проковывать до тѣхъ поръ, пока температура не опустится ниже точки β , то нѣтъ уже опасности въ полученіи стали съ неоднороднымъ и крупно-кристаллическимъ строеніемъ, *ибо ниже β не можетъ имѣть болѣе мѣсто измѣненіе въ структурѣ стали.* Обработанный при этихъ условіяхъ металлъ обладаетъ громадною вязкостью и однороднымъ сложеніемъ. Такова роль механической проковки стали. Сама же по себѣ проковка стали при температурѣ высшей β (а это общій случай при обработкѣ большихъ болванокъ) не имѣетъ никакого вліянія на структуру стали т. е. на ея физическія свойства, напр. на плотность. Сколько бы, напр., мы не проковывали кусокъ стали въ сварочной печи, имѣющей t° около 1200—1300°, микроскопъ послѣ такой обработки не обнаружилъ бы измѣненія величины зеренъ стальной болванки. Сила, развиваемая ударами молота, слишкомъ мала, чтобы преодолѣть огромную молекулярную силу, которая удерживаетъ при столь высокой t° молекулы металла на опредѣленномъ разстояніи одна отъ другихъ.

Вышеописанная термическая обработка, гарантирующая намъ издѣлія съ мелкимъ зерномъ и однородною структурою, возможна однако лишь для издѣлій, имѣющихъ сравнительно незначительные размѣры. Но если бы мы пожелали примѣнить этотъ методъ на практикѣ къ

большимъ болванкамъ, то въ большинствѣ случаевъ получили бы издѣлія съ зерномъ неодинаковаго строенія и при томъ крупной кристаллизаци, ибо пришлось бы примѣнять слишкомъ сильные паровые молоты, чтобы помѣшать кристаллизаци большихъ болванокъ при температурахъ близкихъ b .— „Мы достигнемъ однако нашей цѣли, (говорить проф. Черновъ), если, придавъ болванкѣ помощьюковки надлежащую форму, сообщимъ ей вновь аморфное состояніе, разогрѣвъ ее снова и зафиксировавъ затѣмъ это состояніе быстрымъ охлажденіемъ до t^0 ниже b . Напр. нагрѣвъ, оформленную болванку выше b , ее слѣдуетъ погрузить по возможности быстро въ охлаждающуюся среду: воду, масло и т. п.; затѣмъ, когда температура ея опустится ниже точки b , ее слѣдуетъ вынуть и медленно дать охладиться, для того, чтобы избѣгнуть по возможности внутреннихъ натяженій, которыя могутъ образоваться вслѣдствіе сильнаго и неравномѣрнаго сжатія“.

Вотъ въ общихъ чертахъ теорія проф. Чернова и примѣненія ея для термической обработки стали.

Послѣ Чернова многіе европейскіе ученые занимались изученіемъ вліянія нагрѣванія на структуру стали, и ближе выяснили интересующій насъ вопросъ, но всѣ новѣйшія данныя все же опираются и вытекаютъ изъ положеній, высказанныхъ проф. Черновымъ въ 1868 году. Вотъ напр. выводы, къ которымъ пришелъ въ 1893 г. А. Соверъ (инженеръ сталелитейныхъ въ Иллинойсѣ), изучая рельсовую сталь, и которыя проф. Осмондъ назвалъ „неопровержимыми“.

Предложеніе I. Медленное и свободное охлажденіе отъ начальной температуры, равной или высшей X , вызываетъ кристаллизацию.

Предложеніе II. Медленное и свободное охлажденіе отъ начальной температуры, низшей X , не вызываетъ кристаллизаци. (фиг. 229).

Слѣдствіе. Стальные предметы, механическая обработка которыхъ закончена при температурѣ низшей X , не имѣютъ кристаллической структуры.

Предложеніе III. Температура X измѣняется съ измѣненіемъ химическаго состава стали. Различныя примѣси, по крайней мѣрѣ углеродъ и фосфоръ, понижаютъ температуру X , хотя въ размѣрахъ весьма различныхъ.

Слѣдствіе I. Углеродъ и фосфоръ, а также вѣроятно и всѣ другія примѣси, по крайней мѣрѣ, если содержаніе ихъ достигаетъ нѣкотораго предѣла, способствуютъ увеличенію размѣровъ зерна, а съ увеличеніемъ размѣровъ зерна вязкость и тягучесть уменьшаются и сталь можетъ сдѣлаться хрупкою, если только не устранить эту причину надлежащей термической обработкой.

Слѣдствіе II. Чѣмъ чище сталь, тѣмъ выше температура, при которой можно закончить прокатку, на вызывая грубой кристаллизаци.

Предложеніе IV. Чѣмъ выше температура, при которой сталь оставлена медленно и спокойно охлаждаться, тѣмъ крупнѣе получается

зерно для данного химического состава стали. Для иллюстраціи этого положенія могутъ служить фиг. 230 и 231, представляющія структуру въ центрѣ головокъ двухъ рельсовъ, прокатка которыхъ окончена сравнительно горячею (230) и холодною (231).

Предложеніе V. Чѣмъ медленнѣе охлажденіе, тѣмъ крупнѣе зерно при данномъ химическомъ составѣ стали.

Слѣдствіе изъ предложеній IV и V. Зерно обработаннаго стального издѣлія въ тѣхъ мѣстахъ его крупнѣе, которыя закончены при высшей температурѣ и охлаждались медленнѣе.

Предложеніе VI. Размѣры зерна не зависятъ отъ степени механической обработки.

Предложенія Совера даютъ возможность предвидѣть, что стальной рельсъ долженъ обладать въ различныхъ частяхъ различною структурою. Поверхность рельса, какъ подверженная наиболѣе быстрому охлажденію, приметъ зерно болѣе мелкое, чѣмъ внутренняя часть, гдѣ температура выше и охлажденіе идетъ медленнѣе, что, какъ извѣстно, способствуетъ кристаллизаціи. Стремленіе къ грубой кристаллизаціи будетъ увеличиваться отъ периферіи къ внутренней части рельса. Затѣмъ предложенія, высказанныя Соверомъ, указываютъ также, что при данномъ химическомъ составѣ въ рельсахъ съ большимъ вѣсомъ кристаллизація будетъ выражена сильнѣе, чѣмъ въ рельсахъ легкихъ, ибо прокатка первыхъ закончится, вообще говоря, въ болѣе горячемъ состояніи. Такъ какъ съ измѣненіемъ структуры неизбѣжно мѣняются и механическія свойства, то слѣдуетъ ожидать также, что, съ точки зрѣнія механическихъ свойствъ, стальной рельсъ не есть тѣло однородное, что особенно должно имѣть мѣсто для рельсовъ, прокатка которыхъ закончена въ слишкомъ горячемъ состояніи. Многочисленные испытанія, произведенныя Соверомъ, вполне подтвердили эти выводы.

Полированный и програвленный стальной рельсъ не обнаруживаетъ подъ микроскопомъ одинаковой структуры во всѣхъ своихъ частяхъ. Разрывныя пробы, выточенные изъ надлежащихъ мѣстъ рельса, указали что кристаллическая структура въ центрѣ головки даетъ меньшее удлиненіе, чѣмъ структура болѣе компактная на сторонахъ головки, особенно въ перьяхъ рельса. Микрографическія снимки (фиг. 232), изображающіе структуру одного и того же рельса въ 21 различныхъ мѣстахъ наглядно свидѣтельствуютъ, какъ компактная структура у поверхности дѣлается болѣе и болѣе грубо кристаллическою по мѣрѣ приближенія къ центру головки рельса. Прокатка рельса была закончена въ достаточно горячемъ состояніи (1000 — 1300° С.). Фиг. 229 и 230 взяты изъ рельса, законченнаго въ горячемъ состояніи, а фиг. 231 изъ рельса той же плавки и того же профиля, но законченнаго въ холодномъ состояніи (900—750° С.). „Ясно, говоритъ Соверъ, что идеальный рельсъ долженъ имѣть однородную структуру и зерно насколько возможно мельче. Чтобы достигнуть этого, необходимо заканчивать прокатку при достаточно низкой температурѣ

(не доходя однако до холодной накатки) и ускоряя охлаждение; или же нагревая вновь послѣ прокатки, т. е. отжигая до температуры, при которой кристаллизація не развивается въ періодъ послѣдующаго затѣмъ охлажденія“.

Изъ вышесказаннаго наглядно видна удивительная тождественность выводовъ Совера съ положеніями, высказанными проф. Черновымъ за 30 лѣтъ до изслѣдованій, предпринятыхъ американскимъ инженеромъ. Температура X Совера, есть очевидно ни что иное, какъ точка b Чернова. Для стали различнаго химическаго состава температура X имѣетъ различное значеніе. Надлежащимъ образомъ произведенные опыты дали бы намъ возможность опредѣлить температуру X для стали даннаго химическаго состава, что въ свою очередь дало бы возможность установить, при какой температурѣ слѣдуетъ закончить обработку даннаго сорта стали безъ опасенія, что она приметъ нежелательную кристаллическую структуру. Ясно безъ поясненій, какое огромное практическое значеніе имѣло бы разрѣшеніе подобной задачи.

Въ 1886 г. Pionchon и Le-Chatelier, опредѣляя количество тепла, потребное для нагреванія стали до нѣкоторой температуры, замѣтили, что нагреваніе какъ чистаго желѣза, такъ и твердыхъ сортовъ стали всегда сопровождается значительнымъ поглощеніемъ тепла при достиженіи опредѣленной температуры, во время же охлажденія происходитъ обратное явленіе, т. е. если сталь, нагрѣтую выше опредѣленной температуры, медленно охладить, то сначала пониженіе температуры будетъ идти равномерно, но при извѣстной t^0 это пониженіе не только приостанавливается, но даже имѣетъ мѣсто повышеніе t^0 до накаливанія стали (рекалесценція; самонакаиваніе). Послѣ этой временной остановки дальнѣйшее остываніе стали будетъ опять происходить равномерно. Ясно, что въ первомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ поглощеніемъ тепла, а во второмъ съ его выдѣленіемъ. Для выясненія этого явленія, французскій ученый проф. Осмондъ произвелъ многочисленныя изслѣдованія какъ надъ химически чистымъ желѣзомъ, такъ и надъ сталью съ различнымъ содержаніемъ углерода. При этихъ опытахъ температура измѣрялась помощью термоэлектрическаго пирометра Le-Chatelier.

Изслѣдованія Осмонда доказали, что: 1) желѣзо съ незначительнымъ содержаніемъ углерода имѣетъ двѣ и даже три остановки температуры, или такъ наз. „критическихъ t^0 “, а химическое чистое желѣзо двѣ: одну при 750, другую при 850; желѣзо же съ содержаніемъ углерода отъ 0,8 до 2,5%, т. е. сталь, имѣетъ только одну критическую температуру.

2) Что продолжительность остановки A_1 для различныхъ сортовъ углеродистаго желѣза зависитъ отъ содержанія углерода. Для очень мягкаго желѣза она почти незамѣтна, между тѣмъ для твердой стали она достигаетъ значительной величины. На основаніи этихъ явленій Осмондъ предполагаетъ, что при температурѣ A_1 совершается переходъ углерода изъ одного состоянія въ другое. Когда температура достигаетъ

критической точки A_1 углеродъ, химически связанный съ желѣзомъ карбида, начинаетъ разлагаться и равномерно распредѣляться въ желѣзѣ: перлитъ превращается въ закалитъ. Для разложенія карбида необходимо тепло, поэтому и имѣетъ мѣсто въ этотъ моментъ остановка въ показаніяхъ термометра. Наоборотъ, при охлажденіи стали имѣетъ мѣсто при определенной температурѣ образованіе перлита, т. е. углеродъ механически растворенный въ желѣзѣ вступаетъ съ послѣднимъ въ химическое соединеніе. Эта реакція экзотермическая, т. е. сопровождается выдѣленіемъ тепла.

3) При второй главной остановкѣ A_2 желѣзо теряетъ свои магнитныя свойства, и законъ, по которому электрическое сопротивленіе желѣза увеличивается съ температурою, теряетъ свою силу. Эти послѣднія явленія дали возможность Осмонду предположить, что при критическихъ t^0 происходитъ не только превращеніе перлита въ закалитъ, но и одновременное превращеніе самого желѣза изъ одного аллотропическаго состоянія въ другое. Это подтверждается еще и тѣмъ обстоятельствомъ, что и химически чистое желѣзо, при нагреваніи до $800-900^0$ и быстромъ затѣмъ охлажденіи приобретаетъ болшую вязкость и болшую твердость.

При температурѣ A_2 и выше желѣзо находится въ особомъ твердомъ состояніи и приобретаетъ особенныя характерныя свойства, которыми сильно отличается отъ мягкаго, тягучаго желѣза, химически соединеннаго съ углеродомъ. Это послѣднее состояніе получается, если сталь, нагрѣтую до высокой степени, медленно охладимъ ниже точки A_1 . Первое состояніе желѣза Осмондъ назвалъ желѣзомъ β , а второе желѣзомъ α . Желѣзо α господствуетъ въ медленно охлажденной стали, и во время нагреванія переходитъ въ β , а при медленномъ остываніи опять возвращается въ положеніе α . Температуру A_2 Осмондъ назвалъ „критической точкой аллотропическаго или молекулярнаго превращенія желѣза“.

При сравненіи всѣхъ выводовъ Осмонда съ положеніями теоріи Д. К. Чернова нельзя не придти къ заключенію, что точка b Чернова соответствуетъ критической температурѣ A_2 Осмонда, а точка a — точкѣ A_1 . Имѣя въ рукахъ столь усовершенствованный приборъ, какимъ является пирометръ Лешателье, Осмондъ имѣлъ возможность выразить эти точки болѣе опредѣленно въ градусахъ, тогда какъ Д. К. Чернову 33 г. назадъ пришлось характеризовать лишь цвѣтами каленія.

Испытаніе заводскаго желѣза.

Для того, чтобы получить полное и правильное понятіе о заводскомъ желѣзѣ, какъ о строительномъ матеріалѣ, необходимо подвергнуть его: 1) химическому анализу, 2) механическимъ испытаніямъ и 3) изслѣдованію микроструктуры.

Химическій анализъ и изслѣдованіе микроструктуры.

(См. приложение).

Механическія испытанія желѣза.

Испытанія желѣза на сопротивленіе разрыву и на пластичность. Сопротивленіе разрыву получается, раздѣляя разрывающій грузъ на площадь первоначальнаго поперечнаго сѣченія бруска. Въ ученіи о Сопротивленіи Матеріаловъ доказывается, что для полученія сравнимыхъ величинъ T_r и A_r , необходимо, чтобы испытываемые образцы имѣли одинаковую длину, (обыкновенно 200 мм.) Затѣмъ существенно важно, чтобы разрывающая сила была направлена въ точно-сти по оси бруска. Для выполненія этого условія придаютъ испытываемымъ брускамъ форму, изображенную на фиг. 233, т. е. брусокъ имѣетъ форму цилиндра съ коническими головками на концахъ; самый способъ приготовленія его—обточка на токарномъ станкѣ *)—обеспечиваетъ совпаденіе осей средней цилиндрической части и головокъ. Форма головокъ соотвѣтствуетъ нормальнымъ сферическимъ вкладышамъ тягъ разрывающей машины, примѣняемымъ въ испытательныхъ лабораторіяхъ, согласно постановленіямъ мюнхенской конференціи 1884 года. Длина цилиндрической части l принята=220 мм., а величина поперечнаго сѣченія бруска дѣлается различною въ зависимости отъ размѣровъ испытываемаго тѣла и силы имѣющейся машины, а именно $d=10, 15, 20$ и 25 мм. При испытаніи листовъ вырѣзываются плоскіе образцы шириной въ 30 мм., а толщиной въ толщину листа, если послѣдняя менѣе 10 мм. и толщиной въ 10 мм., если листъ толще. Если круглое желѣзо настолько тонко, что изъ него нельзя выточить образецъ описаннаго типа, то его испытываютъ въ естественномъ видѣ, захватывая его концы при помощи завершенныхъ вкладышей. Передъ испытаніемъ на выточенныхъ брускахъ наносятъ двѣ точки (керны), разстояніе между которыми точно=200 мм. Помѣстивъ образецъ въ разрывную машину **), подвергаютъ его, постепенно возрастающимъ растягивающимъ усиліямъ до полученія разрыва. При разрывѣ отмѣчаются: разрывающій грузъ и удлинненіе между мѣтками. Наибольшая сила, P появляющаяся при плавномъ непрерывномъ растяженіи образца, раздѣленная на площадь ω его первоначальнаго сѣченія, даетъ намъ временное сопротивленіе разрыву $T_r = \frac{P}{\omega}$, а отношеніе

*) При изготовленіи испытываемаго стержня само собою, разумѣется, должна быть исключена всякая обработка проковкой или прокаткой, какъ измѣняющія механическія свойства испытываемаго бруска.

**) Изъ различныхъ разрывныхъ аппаратовъ для нашей цѣли удобнѣе приборъ Морга и Федергофа.

удлиненія между мѣтками къ первоначальной длинѣ бруска—относительное удлиненіе или мѣру пластичности A_r . Ее выражаютъ обыкновенно въ % отъ первоначальной длины. Поэтому если l разстояніе между мѣтками до разрыва, l_1 —послѣ разрыва, то мѣра пластичности $= \frac{l_1 - l}{l} \times 100$. При $l = 20$ см., а $l_1 = 22$ см.

$$A_r = \frac{22 - 20}{20} \times 100 = 10\%.$$

Иногда выражаютъ мѣру пластичности вмѣсто относительнаго удлиненія—относительнымъ сжатіемъ

$$B_r = \frac{u - u_1}{u},$$

гдѣ u —первоначальная площадь бруска, и u_1 площадь сѣченія въ мѣстѣ разрыва.

Когда постоянно приходится имѣть дѣло съ опредѣленнымъ матеріаломъ, сопротивленіе на разрывъ котораго мало измѣняется, но пластичность колеблется въ широкихъ предѣлахъ, то можно ограничиваться лишь опредѣленіемъ послѣдней. Для этой цѣли служить проба на изгибъ. Она заключается въ сгибаніи бруска или полосы, пока на выпуклой сторонѣ не появятся трещины. О степени пластичности судятъ по величинѣ угла изгиба α . Для полученія сравнимыхъ результатовъ необходимо, чтобы радіусъ искривленія въ мѣстѣ изгиба былъ одинъ и тотъ же для различныхъ испытуемыхъ образцовъ. Это условіе достигается тѣмъ, что металлъ изгибается вокругъ стержня K опредѣленнаго діаметра. Очень мягкое желѣзо при подобной пробѣ можно, напр. довести до плотнаго соприкосновенія между собою изгибаемыхъ частей (напр. заклепки для котловъ и котельные листы тоньше 20 милл.) Есть однако случаи, когда опредѣленіе двухъ величинъ T_r и A_r не достаточно для рѣшенія вопроса, годенъ ли матеріалъ для данной цѣли. Напр. когда испытуемый матеріалъ долженъ въ послѣдствіи подвергаться дѣйствію сильныхъ ударовъ и сотрясеній, кромѣ опредѣленія T_r и A_r , необходимо еще произвести т. н. „ударную“ пробу. Такъ какъ T_r и A_r , какъ мы видѣли, получаютъ изъ опыта, при которомъ растяженіе производится плавно и медленно, то при рѣзкихъ ударахъ желѣзо можетъ оказаться хрупкимъ, несмотря на значительныя величины T_r и A_r . Для вагонныхъ осей примѣняется напр. слѣдующій способъ: ось кладется на двѣ подставки, отстоящія на 4 фута одна отъ другой, и подвергается пяти ударамъ 30-пудовой бабы, падающей съ высоты 15 фут. причемъ послѣ каждаго удара ось поворачивается въ противоположную сторону.

Такъ какъ опытами несомнѣнно доказано, что многіе сорта желѣза и стали дѣлаются хрупкими на морозѣ, то при приѣмкѣ рельсовъ считается необходимымъ производить ударную пробу при t^0 отъ—10

до—15° R. Въ случаѣ надобности рельсы искусственно замораживаютъ. Кусокъ рельса длиною не менѣе 5 ф. кладется на двѣ опоры, на разстояніи 3,5 фут. другъ отъ друга; высота паденія 30-пудовой бабы измѣняется отъ 6,75 до 8,75 футъ, въ зависимости отъ типа рельса. Ударовъ дѣлается два. (Эвальдъ).

Какъ извѣстно, сталь или желѣзо можетъ принимать закалку не только подъ вліяніемъ нагрѣванія и послѣдующаго быстрого охлажденія, но и отъ приложенія къ нимъ значительныхъ механическихъ усилій. Пробивая въ листахъ дыры колюромъ, или обрѣзывая кромки ножницами, мы закаливаемъ металлъ въ частяхъ, лежащихъ близъ мѣста приложенія усилій. Въ этихъ мѣстахъ матеріалъ теряетъ часть своей пластичности, т. е. дѣлается болѣе хрупкимъ. Величины T_f и A_f не даютъ указаній на то, способенъ ли испытуемый матеріалъ закаливаться отъ усилій или нѣтъ. Въ этомъ случаѣ по Кирпичеву слѣдуетъ, пробивъ колюромъ дыры въ пластинкѣ, разорвать ее и, опредѣливъ величины, T_f и A_f , сравнить ихъ съ соотвѣтствующими величинами для пластинки, въ которой не пробито дыръ.

Испытаніе на закаливаніе, производится иногда съ цѣлью отличить литое желѣзо отъ стали. Напр. литое желѣзо, употребляемое для мостовъ, не должно принимать закалки. Для испытанія пробныя полосы нагрѣваютъ до вишнево-краснаго цвѣта, охлаждаютъ въ холодной водѣ и подвергаютъ затѣмъ тѣмъ же испытаніямъ на изгибъ, какіе обязательны для полосы въ незакаленномъ состояніи.

Проба вытравливаніемъ примѣняется особенно въ томъ случаѣ, когда подозрѣваютъ въ желѣзѣ скрытые внутренніе недостатки—пустоты, трещины, присутствіе шлаковъ и т. п. и состоитъ въ томъ, что испытуемое мѣсто, предварительно отшлифованное, подвергается дѣйствію кислоты, растворяющей желѣзо, (соляной кислоты, смѣси 2-хъ частей (по объему) азотной кислоты съ 1 частью купороснаго масла). При этомъ 1) кислота на болѣе твердое желѣзо дѣйствуетъ менѣе сильно нежели на болѣе мягкое (послѣ вытравленія болѣе твердыя мѣста возвышаются надъ болѣе мягкими) 2) кислота проходитъ во всѣ щели и менѣе плотныя мѣста. Разъѣдая ихъ она дѣлаетъ ихъ видными невооруженнымъ глазомъ. Самое испытаніе производится слѣдующимъ образомъ. Отшлифовавъ (тонкимъ инструментомъ) поверхность поперечнаго сѣченія испытуемаго желѣзнаго предмета, его вѣшаютъ отшлифованною поверхностью внизъ такъ, чтобы между дномъ сосуда, содержащаго кислоту, и поверхностью стержня было разстояніе minimum въ 15 мм., и кромѣ того кислота должна вполне покрыть (на нѣсколько мм.) предметъ. Время отъ времени испытуемый стержень вынимается изъ кислоты, хорошо промывается чистою водою, очищается зубною щеткою и снова погружается въ кислоту. Когда дѣйствіе кислоты станетъ замѣтнымъ, стержень промываютъ водою, опускаютъ на нѣкоторое время въ известковое молоко, затѣмъ въ кипящую воду и затѣмъ высушиваютъ пропускною бумагою.

Для опредѣленія качества желѣза какъ строительнаго матеріала немаловажное значеніе имѣетъ также и *кузнечныя испытанія* желѣза, при которыхъ оно подвергается: ковкѣ, изгибу въ горячемъ состояніи, сваркѣ и т. п. Чѣмъ выше качество желѣза, тѣмъ лучше оно выдерживаетъ подобныя испытанія, не давая трещинъ и не становясь ломкимъ. Напримѣръ горячій изгибъ сварочнаго желѣза производится слѣдующимъ образомъ (см. ф. 234). При свѣтлокрасномъ каленіи въ испытуемой полосѣ на разстояніи 25 мм. отъ конца, помощью конической продавки, прибавается по серединѣ отверстие, діаметромъ равнымъ половинѣ ширины полосы и затѣмъ второе отверстие по срединѣ на разстояніи 13 мм. отъ края перваго; затѣмъ концы полосы разсѣкаются вдоль до края перваго отверстия, какъ показано на ф. 234 и разсѣчка отворачивается съ обѣихъ сторонъ; при этомъ не должно обнаруживаться никакихъ надрывовъ, расслоеній и трещинъ. При приѣмѣ чугуна важное значеніе имѣетъ также осмотръ поверхности свѣжаго излома. Чѣмъ темнѣе цвѣтъ и чѣмъ крупнѣе зерна въ изломѣ, тѣмъ болѣе графита содержитъ чугунъ и тѣмъ онъ мягче; тогда какъ свѣтлый цвѣтъ и мелко зернистое зерно свидѣтельствуютъ о большей или меньшей твердости и хрупкости чугуна. Вообще наружный осмотръ металла долженъ предшествовать остальнымъ пробамъ. При этомъ осмотрѣ можно обнаружить также присутствіемъ пленокъ, золовѣдинъ, раковинъ и т. п.

Тамъ, гдѣ приходится дѣлать огромныя заготовки желѣза и гдѣ этотъ матеріалъ, является особенно отвѣтственнымъ, вырабатываются особыя техническія условія приѣмки: „нормы“. Подобныя условія существуютъ напр. въ Германіи и у насъ въ Россіи, при приѣмкѣ строительныхъ матеріаловъ для работъ вѣдомства министерства путей сообщенія (см. сборникъ правилъ для приѣмки желѣзнодорожныхъ принадлежностей П. В. Кубасова 1898 г.). Изъ этихъ испытаній главнѣйшія: сопротивленіе разрыву и пластичность, пробы на изгибъ, на закалку и ударная проба.

Нижеслѣдующая таблица, составленная Эвальдомъ на основаніи инструкціи М. П. С. 1897 г., даетъ намъ указанія на наименьшія допускаемые предѣлы сопротивленія разрыву и удлиненіе образца (въ % относительно длины въ 200 mm.). Изъ этой таблицы усматриваемъ, что къ сварочному желѣзу, растягиваемому вдоль прокатки, предъявляются болѣе строгія требованія, чѣмъ къ разрываемому поперекъ прокатки. Это зависитъ отъ того, что въ сварочномъ желѣзѣ, шлакъ, располагаясь при прокаткѣ тонкими нитями, параллельными длинѣ, не оказываетъ на сопротивленіе разрыву замѣтнаго вліянія, тогда какъ они значительно ослабляютъ сопротивленіе силамъ, растягивающимъ брусокъ поперекъ волоконъ. Въ котельномъ желѣзѣ разница этихъ двухъ сопротивленій вдоль и поперекъ волоконъ, хотя также существуетъ, но она не такъ велика, какъ въ полосовомъ желѣзѣ. Отсюда практическій выводъ: 1) полосовое желѣзо не должно въ машинахъ и построй-

кахъ подвергаться растяженію поперекъ волоконъ; 2) если растягивающія силы дѣйствуютъ по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ, то вмѣсто полосового желѣза слѣдуетъ примѣнять котельное.

РОДЪ МЕТАЛЛА.	Сопротивленіе разрыву=R, не меньше:	Удлиненіе=i, не меньше:	R+2i.
<i>Мостовыя сооруженія.</i>			
Листы: литого желѣза 4—8 мм. толщины	35—40	20—15	85
Листы свароч. жел. вдоль прокатки	34	12	—
Листы свароч. жел. поперекъ прокатки	28	3	—
Заклепки: литого желѣза	34—40	25	90
„ сварочнаго желѣза	36	18	—
<i>Полосовое, фасонное и круглое желѣзо.</i>			
Полосовое, литое при толщинѣ 4—20 мм.	33	20	76
Полосовое, литое при толщинѣ 20—35 мм.	31	16	66
Полосовое, сварочн. 1-го сорта	34—36	14—18	—
„ „ 2-го „	32—34	10—12	—
<i>Рельсы.</i>			
Стальные рельсы	65	6	82 *)
Накладные (литое жел.)	42	—	75
<i>Скаты.</i>			
Оси (изъ литой, механически уплотненной стали	50—60	15	90 **)
Шины (литая сталь) вагонныя	65	8	90
„ „ „ паровозныя	70	8	90
<i>Паровозныя котлы.</i>			
Листы: сварочныя вдоль прокатки	34	15	—
„ „ поперекъ „	30	8	—
„ литое желѣзо	30—40	25	90 ***)

*) Содерж. C>0,40%, P>0,10%, S<0,10%,

**) Содерж. P не>0,150%.

***) Содерж. P не>0,050%. При увеличеніи сопротивленія, на каждый килограммъ свыше 40, удлиненіе должно увеличиваться на 20%, сверхъ 250%.

Торговые сорта желѣза и стали.

Въ строительномъ дѣлѣ наиболѣе употребительны слѣдующіе сорта желѣза и стали.

Листовое желѣзо. Въ зависимости отъ рода примѣненія толщина листовъ листового желѣза измѣняется отъ 0,102 миллиметровъ до 3,5 см. Распредѣляю сорта листового желѣза въ порядкѣ возрастающей толщины.

Кровельное желѣзо. Толщина листовъ измѣняется отъ 0,102 милл. до 7,6 милл. Ширина листа, обыкновенно 1 аршинъ, длина 2 аршина. Это желѣзо обыкновенно обозначаютъ вѣсомъ въ фунтахъ 2-хъ аршиннаго листа. Наиболѣе употребительно 10—12 и 13-ти фунтовое желѣзо. Различаютъ глянцевое и матовое кровельное желѣзо. Первое получается прокаткою въ холодномъ состояніи. Толщину листовъ часто опредѣляютъ калибромъ Стубса. Примѣненіе явствуетъ изъ названія.

Замочное желѣзо. Толщина $\frac{1}{32}$ — $\frac{3}{16}$ ". Примѣняется для слесарныхъ работъ.

Кубовое ($\frac{3}{16}$ — $\frac{1}{4}$ "). Употребляется для изготовленія резервуаровъ (кубовъ) и для обшивки судовъ.

Котельное ($\frac{1}{4}$ —1"). Изъ него склепываютъ паровые котлы и балки.

Кромѣ этихъ сортовъ листового желѣза съ гладкою поверхностью имѣются въ продажѣ еще такъ наз. рифленное или шахматное желѣзо и волнистое желѣзо.

Рифленое желѣзо состоитъ изъ листовъ, одна сторона, которыхъ гладкая, а на другой выштампованы борозды; борозды идутъ по двумъ пересѣкающимся между собою подъ косымъ или прямымъ угломъ направленіямъ. Такіе листы прокатываютъ до $1\frac{1}{2}$ метра ширины, при площади до 4 кв. метр. и толщиною отъ 0,4 до 1,5 см. Употребляется на ступени желѣзныхъ лѣстницъ, для пола балконовъ, тротуаровъ, мостовъ и т. п.

Волнистое желѣзо. Различаютъ обыкновенное волнистое желѣзо (низкое) и балочное волнистое желѣзо съ большой высотой волны $h \geq b$. Обыкновенное волнистое желѣзо имѣетъ толщину отъ 0,5—2 мм., балочное отъ 1 до 5 мм. Длина толстыхъ сортовъ до 6 метр., тонкихъ до 3 метр., ширина листа отъ 0,5—0,9 метра. Иногда оно, для большей прочности дѣлается выпуклымъ въ продольномъ направленіи (сводчатое желѣзо Vombiert). Примѣняется для устройства потолковъ, кровель, какъ покрытие въ мостахъ. Преимущественно для покрытія небольшихъ пространствъ, сараевъ, корабельныхъ палубъ, подъездовъ. Имѣетъ ту выгоду, что не требуетъ строительной поддержки, сильно стѣсняющей внутреннее помѣщеніе.

Универсальнымъ желѣзомъ называютъ узкіе и длинные сорта кровельнаго желѣза. Такое желѣзо прокатывается шириною до 6—22 дюймовъ, длиною до 30 до 40 фут., оно особенно удобно для устройства раскосовъ и поясовъ. Листовое желѣзо прокатывается или изъ сварочнаго или изъ мягкихъ сортовъ литога желѣза.

Сортовое желѣзо. отличается отъ листового тѣмъ, что ширина его значительно менѣе длины. Это есть листовое желѣзо ширина котораго—или менѣе 6 дюймовъ (150 мм.). Смотря по фигурѣ поперечнаго сѣченія различаютъ:

Полосовое желѣзо представляетъ въ поперечномъ сѣченіи прямоугольники. Длина до 50 футъ, толщина отъ $\frac{1}{8}$ до $1\frac{1}{2}$ дюйма и ширина до 6 дюйм. Идетъ на строительныя связи, хомуты, лѣстничныя косоуры (обыкновенное полосовое желѣзо толщина $\frac{1}{2}$ ", ширина 3—4"). Болѣе толстыя сорта т. н. *шинное желѣзо* идетъ на изготовленіе шинъ, а тонкіе и мягкіе сорта—*обручное желѣзо* на обручи бочекъ, на скрѣпленіе листовъ при постройкахъ и т. п.

Круглое желѣзо. Длинною обыкновенно въ 4—6 м. и различной толщины. Если діаметръ менѣе $\frac{1}{4}$ дюйма, то круглое желѣзо называется проволокою и опредѣляется калибромъ Стубса. Средней толщины желѣзо идетъ на устройства перилъ—это т. н. „прутковое желѣзо“. Для изготовленія заклепокъ идутъ сорта около $\frac{3}{4}$ " до 1" въ діаметрѣ. Круглое желѣзо, употребляемое какъ тяги въ болтахъ фермы Гау, въ затяжкахъ и струнахъ стропилъ—имѣетъ обыкновенно діаметръ $\frac{3}{4}$ "—3". Вообще же толщина круглаго желѣза измѣняется на $\frac{1}{32}$ (1 мм.) Эти издѣлія должны быть приготовлены изъ самаго мягкаго и вязкаго желѣза. Вообще же сортовое желѣзо, смотря по назначенію, можетъ быть прокатано, какъ изъ мягкихъ, такъ изъ жесткихъ сортовъ желѣза.

Квадратное желѣзо. Длина отъ 15—50 фут., толщина отъ $\frac{1}{4}$ "— $4\frac{1}{2}$ ". Это обыкновенный матеріалъ для кузнечныхъ подѣлокъ (колосники, рѣшетки, лѣстницы, кронштейны и т. п.), а потому этотъ сортъ чаще всего прокатывается изъ сварочнаго желѣза.

Шестиугольное и восьмиугольное (гранное) желѣзо имѣетъ въ поперечномъ сѣченіи форму 6 или 8-угольника.

Фасонное желѣзо есть сортовое желѣзо съ болѣе сложными профилемъ поперечнаго сѣченія. Сюда относятся угловое, тавровое желѣзо, двутавровое, корытное, зетовое, рельсы и т. д. Великое разнообразіе въ очертаніяхъ и въ размѣрахъ этихъ сортовъ строительнаго желѣза заставляло заводчиковъ имѣть огромный запасъ дорого стоящихъ прокатныхъ вальковъ (а иногда и отказываться отъ сдѣланнаго заказа), значительно затрудняло работу при составленіи смѣтъ и вычисленіяхъ прочныхъ размѣровъ сооружений. Для облегченія работы какъ инженера, такъ и завода начали вырабатывать особые, однообразные для всѣхъ заводовъ „сортаменты“ фасоннаго желѣза. Первый сортаментъ появился въ 1880 году въ Германіи подъ названіемъ „нѣмецкаго нормальнаго

сортамента“. Затѣмъ по примѣру Германіи и другія государства начали вводить нормальные сортаменты.

Въ Россіи первый нормальный, метрическій сортаментъ былъ изданъ въ 1900 г. подъ названіемъ „Русскій нормальный метрическій сортаментъ фасоннаго желѣза“. Онъ былъ выработанъ постоянною совѣщательною конторою желѣзозаводчиковъ, совместно съ представителями различныхъ вѣдомствъ. При выработкѣ нормальныхъ профилей стремились распределить матеріалъ возможно рационально (наибольшая экономія при условіи наименьшаго ослабленія площади сѣченія).

Примѣненіе чугуна, желѣза и стали въ строительномъ дѣлѣ.

Примѣненіе различныхъ сортовъ чугуна и желѣза въ частныхъ случаяхъ было нами указано попутно съ описаніемъ производства и свойствъ этихъ металловъ. Въ настоящей главѣ я ограничусь поэтому нѣкоторыми общими замѣчаніями.

Чугунъ. Намъ уже извѣстно, что чугунъ по своимъ качествамъ рѣзко отличается отъ желѣза и стали. Такъ напр. сопротивленіе его разрыву менѣе сопротивленіе желѣза и стали, но зато чугунъ обладаетъ высокимъ сопротивленіемъ сжатію и раздробленію. Въ среднемъ сопротивленіе чугуна раздробленію въ 6 разъ болѣе его сопротивленія растяженію. Поэтому чугунъ главнымъ образомъ примѣняютъ для сопротивленія сжатію, но не для сопротивленія растяженію и крученію. Затѣмъ важно обратить вниманіе на сравнительно небольшой коэффициентъ упругости чугуна (отъ 600.000—1.200.000), который вдвое, а иногда и втрое меньше чѣмъ для желѣза и стали. А это значитъ, что тамъ, гдѣ требуется по возможности малое измѣненіе формы, нужно примѣнять не чугунъ, а желѣзо и сталь. Чугунъ очень хрупокъ. Въ отливкахъ онъ является вообще ненадежнымъ матеріаломъ, вслѣдствіе неоднородности, раковинъ и др. изъяновъ, при чемъ качество чугуна зависитъ отъ размѣровъ отливки. Чѣмъ крупнѣе массивная отливка, тѣмъ медленнѣе она охлаждается и тѣмъ крупнѣе кристаллическое строеніе металла. А крупнокристалличность, какъ намъ извѣстно, есть какъ въ желѣзѣ, такъ и въ чугунѣ признакъ слабости. По этой причинѣ чугунныя отливки обыкновенно дѣлаются пустотѣлыми, напр. колонны, стойки и т. п.

Ковкое желѣзо. Изъ сортовъ ковкаго желѣза наибольшее примѣненіе въ строительной teknikѣ имѣетъ пластическое желѣзо съ сравнительно невысокимъ сопротивленіемъ разрыву. Для постройки машинъ, мостовъ, паровыхъ котловъ, пароходовъ, частей подвижнаго состава желѣзныхъ дорогъ и т. д. примѣняется обыкновенно металлъ съ небольшимъ содержаніемъ углерода, обладающій очень большою пла-

стичностью, хотя и небольшимъ сопротивленіемъ разрыву. Сталь въ строгомъ смыслѣ этого слова, т. е. ковкое желѣзо, содержащее болѣе 0,5% углерода, употребляется лишь для приготовленія рѣзущихъ и сверлящихъ инструментовъ, для пружинъ и т. п., ибо оно способно принимать закалку, т. е. дѣлается хрупкимъ, мало пластичнымъ даже отъ такихъ причинъ, какъ охолодка раскаленного металла токомъ воздуха, отъ пробиванія дыръ, обрѣзки кромокъ листовъ и т. п. механическихъ усилий. А эти вліянія часто имѣютъ мѣсто при изготовленіи частей желѣзныхъ мостовъ, машинъ и т. д. Слѣдовательно, употребляя въ этомъ случаѣ сталь въ качествѣ строительнаго матеріала, мы рискуемъ получить въ нѣкоторыхъ частяхъ сооруженія матеріалъ весьма хрупкій, мало пластичскій. Желѣзо для котловъ, мостовъ и т. д. содержитъ отъ 0,05—0,2% углерода; для осей, валовъ, рельсъ, бандажей 0,2—0,35%.

Литое желѣзо служитъ исключительно для прокатки листового и фасоннаго желѣза, а также рельсъ. Оно даетъ хорошіе результаты въ примѣненіи къ такимъ частямъ, которыя идутъ въ дѣло въ видѣ кусковъ опредѣленной длины (напр. балка) безъ дальнѣйшей обработки. Отверстія для заклепокъ слѣдуетъ просверливать, но не пробивать.

Сварочное желѣзо (а также мягкое Мартеновское) употребляется для производства полосового, круглаго и вообще такихъ сортовъ, которые должны подвергаться затѣмъ сварки или ковки. Извѣстный металлургъ проф. Ледебуръ отдаетъ преимущество литому металлу передъ сварочнымъ: литое желѣзо обладаетъ большею прочностью и гибкостью, нежели сварочное, и если въ настоящее время, независимо отъ этого, количество полученнаго и употребленнаго въ дѣло сварочнаго и литого желѣза почти одинаково, то это явленіе по Ледебуру объясняется слѣдующимъ обстоятельствомъ.

1) Потребность въ ковкомъ желѣзѣ далеко не можетъ быть удовлетворена однимъ литымъ желѣзомъ.

2) Большая воспримчивость сортовъ литого желѣза къ различнымъ факторамъ, вызывающимъ измѣненія его механическихъ свойствъ.

- а) Синеломкость литого желѣза значительнѣе сварочнаго.
- б) При выдавливаніи отверстій литое желѣзо теряетъ въ прочности больше, чѣмъ сварочное.
- в) При слишкомъ быстромъ охлажденіи или нагрѣваніи въ литомъ желѣзѣ легко образуются неравнобѣрные внутренніе напряженія (напр. разрывъ парового котла обусловливается нерѣдко быстрымъ разогрѣваніемъ или наливаніемъ холодной воды до полного охлажденія).
- г) Химическій составъ литого желѣза и зависящіе отъ него механическія свойства могутъ колебаться въ болѣе широкихъ предѣлахъ, нежели въ сварочномъ желѣзѣ, а поэтому выборъ матеріала надлежащихъ качествъ болѣе затруднителенъ. Въ прежнія времена неудачный выборъ литого металла весьма часто являлся причиной дурныхъ послѣдствій.
- е) Сварочное желѣзо извѣстно въ народѣ уже тысячелѣтія и столь же

старъ опытъ, пріобрѣтенный кузнецомъ при манипуляціи со сварочнымъ желѣзомъ, тогда какъ литой металлъ появился лишь съ половины прошлаго столѣтія. Поэтому тамъ, гдѣ можно употреблять литое желѣзо, по привычкѣ употребляютъ сварочное, особенно при мелкихъ производствахъ. Проф. Ледебуръ полагаетъ, что едва ли можно сомнѣваться, что окончательное вытѣсненіе сварочнаго желѣза литымъ произойдетъ въ довольно непродолжительномъ времени.

Отношеніе желѣза, какъ строительнаго матеріала, къ атмосфернымъ дѣятелямъ и къ высокой температурѣ при пожарахъ.

Самый опасный врагъ желѣзныхъ частей сооружений это ржавчина, т. е. окисленіе желѣза (а слѣдовательно и его разрушеніе) подъ вліяніемъ кислорода воздуха и влажности. Чугунъ и сталь менѣе подвержены ржавчинѣ, чѣмъ желѣзо *). Для предохраненія желѣза отъ окисленія существуетъ много способовъ, но всѣ они основаны на образованіи на поверхности желѣзнаго предмета тонкой пленки неизмѣняющейся отъ атмосфернаго вліянія. Къ этимъ способамъ относятся: окраска, оцинкованіе, луженіе, эмальированіе и оксидированіе. Для дѣйствительности всѣхъ этихъ способовъ, необходимо, чтобы поверхность желѣза была предварительно совершенно очищена. Примѣняютъ механическую очистку (стальными щетками) и химическую. Химическая состоитъ въ раствореніи окисловъ слабою соляною кислотою и въ послѣдующей нейтрализаціи избытка кислоты известковымъ молокомъ. Послѣ этого поверхность промываютъ горячей водою и покрываютъ нѣсколько разъ олифой (т. е. жидкимъ, быстро сохнущимъ варенымъ льнянымъ масломъ).

Окраска составляетъ наиболѣе обычное средство для предохраненія желѣзныхъ частей отъ окисленія. Окрашиванію предшествуетъ загрузка и шпаклевка. Для загрузки хорошо примѣнять сурикъ на льняномъ маслѣ. Для окончательной окраски поверхъ загрузки употребляютъ свинцовыя и цинковыя бѣлила съ примѣсью минеральной краски желаемаго цвѣта. Изъ быстросохнущихъ красокъ можно рекомендовать патентованную краску Ратьена и т. н. алмазную краску (смѣсь графита, олифы и скипидара). Если желѣзныя части должны

*) Желѣзныя части мостовъ въ Мюнхенѣ и въ Аугсбургѣ въ теченіе 20 лѣтъ уменьшились въ объемѣ почти на половину. Разумѣется соотвѣтственно уменьшается и сопротивляемость механическимъ усиліямъ.

быть заключены въ цементъ или бетонъ, то, разумѣется, окраска излишняя *).

Гальванизация или оцинкованіе есть самый надежный способъ предохраненія желѣзныхъ поверхностей отъ ржавчины. Для этого очищенный металлъ подогреваютъ и погружаютъ въ ванну съ расплавленнымъ цинкомъ. Тамъ гдѣ въ воздухѣ могутъ оказаться пары сѣрной кислоты или SO_2 (напр. на химич. зав.) цѣлесообразнымъ является послѣдующее освинцованье оцинкованнаго желѣза.

Оксидированіе. Оксидированіе или способъ *Rarff'a* есть искусственное полученіе на поверхности желѣза слоя магнитной окиси (закись-окись), который вполне предохраняетъ металлъ отъ дѣйствій атмосферы. Этотъ сравнительно новый способъ состоитъ въ дѣйствіи перегрѣтаго пара на накалившееся желѣзо.

Луженіе придаетъ предметамъ красивый видъ, но составляетъ менѣе надежное средство противъ ржавчины. Наконецъ нѣкоторыя чугунныя части сооруженія, напр. ванны, клозетныя чашки покрываются эмалью. Этотъ способъ дорогъ.

Относительно вліянія вообще высокой t° и въ частности при пожарахъ на механическія свойства желѣза было изложено выше (см. желѣзо-бетонъ).

*) Для большихъ конструкцій окраски впрочемъ обходятся весьма дорого и продолжительно. Окраска напр. величайшаго въ мірѣ желѣзнаго моста (Hudsonbrücke—Сѣв. Америка) продолжается 3 года и къ концу этого періода времени, окраска въ первоначальномъ пунктѣ уже разрушена.

ДЕРЕВО. *)

О важномъ значеніи дерева для цѣлей строительства распространяться излишне: оно извѣстно всѣмъ и каждому. Къ свойствамъ, дѣлающимъ дерево особенно цѣннымъ строительнымъ матеріаломъ, принадлежатъ: упругость, значительное сопротивленіе изгибающимъ и сжимающимъ усилямъ при сравнительно незначительномъ вѣсѣ и, наконецъ, легкость, съ которою оно обрабатывается рѣзущими и иными инструментами въ желаемую форму. Но дерево обладаетъ также и существенными недостатками: оно горюче и подвержено процессамъ гніенія.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію дерева какъ строительнаго матеріала, я нахожу необходимымъ, хотя бы и въ общихъ чертахъ, познакомить слушателей съ его строеніемъ и съ сущностью его жизненныхъ процессовъ, т. е. слегка коснуться анатоміи и фізіологіи дерева. Изъ различныхъ частей живого дерева: корней, ствола, листьевъ, вѣтвей и др. преимущественно употребляется въ строительной технику—стволъ, поэтому при дальнѣйшемъ изложеніи настоящей главы, я и буду имѣть главнымъ образомъ его въ виду. Основа жизни растенія—это клѣточка. Ее можно уподобить микроскопической лабораторіи, въ которой вырабатываются необходимыя для жизни растенія вещества. Всякое растеніе образуется изъ безконечнаго числа отдѣльныхъ клѣточекъ. Что же представляетъ изъ себя клѣточка, какое ее строеніе и химическій составъ?

КЛѢТКА. Разсматривая подъ микроскопомъ разрѣзъ какой-либо части растенія, не трудно усмотрѣть, что клѣтка обыкновенно состоитъ изъ оболочки и содержимаго. Это микроскопическій пузырь, наполненный зернистою, тягучей слизью, называемой протоплазмой. Внутри протоплазмы лежитъ ядро съ однимъ или двумя ядерными тѣльцами (ф. 235). Протоплазма имѣетъ первенствующее значеніе для жизни

*) Анатомія и фізіологія дерева по Палладину, Тимирязеву и др.

растения. Существуют живыя кѣтки безъ оболочки, но съ исчезновеніемъ протоплазмы прекращается и жизнь кѣтки, она умираетъ. Въ одномъ и томъ же деревѣ встрѣчаются кѣтки живыя и умершія. Древесина, т. е. часть дерева собственно имѣющая значеніе для строительства, главнымъ образомъ состоитъ изъ кѣточекъ уже прошедшихъ свой жизненный путь. Въ молодости растенія, когда всѣ жизненные процессы идутъ особенно интенсивно, все содержимое кѣточки состоитъ изъ протоплазмы. Она наполняетъ всю внутреннюю полость кѣтки. Съ теченіемъ роста растенія часть протоплазмы расходуется на ростъ и утолщеніе оболочки; она не можетъ уже наполнять всю кѣтку. Въ ней образуются полости (вакуоли), наполненные кѣточнымъ сокомъ. По мѣрѣ роста кѣточки увеличивается главнымъ образомъ количество сока. На фиг. 236 S—изображены вакуоли. Иногда всѣ вакуоли сливаются въ одну большую вакуолю; тогда протоплазма выстилаетъ лишь внутреннія стѣнки оболочки (ф. 237). Кромѣ упомянутыхъ веществъ въ полости кѣтки нерѣдко замѣчаются и другого рода вещества: безцвѣтныя или окрашенныя зерна, т. н. „пластиды“. Наконецъ въ болѣе позднемъ возрастѣ кѣточки нерѣдко, все ея содержимое исчезаетъ, остается только мертвый скелетъ кѣтки—ея оболочка, наполненная воздухомъ или водою. Сухая, не содержащая соковъ, часть дерева и состоитъ изъ подобныхъ мертвыхъ кѣточекъ.

Протоплазма. Однимъ изъ характерныхъ признаковъ живой протоплазмы является ея способность къ движенію. Для этого, однако, необходимо присутствіе кислорода. Въ водѣ или въ атмосферѣ, лишенной кислорода, движеніе прекращается. Движеніе зернышекъ протоплазмы довольно медленное. Большинство не дѣлаетъ больше 5 мм. въ минуту, многія даже около 1 мм. Фиг. 238 изображаетъ кѣтки *Elodea* съ движущеюся протоплазмою. Движеніе протоплазмы наблюдается также и въ голыхъ кѣткахъ. Вообще предполагаютъ, что способность двигаться принадлежитъ каждому живому протопласту. Познаніе значенія различныхъ протоплазматическихъ движеній хотя и оставляетъ желать еще многого, но все же весьма вѣроятно, что эти движенія находятся въ связи съ питаніемъ и размноженіемъ кѣточекъ. По своему химическому составу протоплазма принадлежитъ къ весьма сложнымъ органическимъ соединеніямъ. Она даетъ всѣ реакціи, свойственныя т. н. бѣлковымъ веществамъ, примѣромъ которыхъ можетъ служить бѣлокъ куриного яйца, имѣющій по Либрману слѣдующій составъ: $C_{72}H_{122}N_{18}O_{22}S$; подобно бѣлку куриного яйца протоплазма состоитъ изъ углерода, водорода, азота, кислорода и сѣры.

Ядро. Составъ ядра приближается къ составу протоплазмы, т. е. это также сложное бѣлковое соединеніе. Хотя ядро лежитъ въ протоплазмѣ, оно никогда не образуется изъ послѣдней, но всегда изъ ядра же путемъ дѣленія. Вообще же роль ядра въ жизни кѣточки не вполне еще выяснена. Такъ какъ протоплазма съ ядромъ являются основами

жизни растений, то важно, разумеется, выяснить причины смерти протоплазмы. Вбродите всего что это явление обуславливается свертыванием бѣлковыхъ веществъ, т. е. переходу ихъ изъ растворимаго состоянія въ нерастворимое. Въ жидкомъ состояніи протоплазма умираетъ при нагрѣваніи свыше 50 — 60° С. Кромѣ возвышенной t^0 на протоплазму губительно дѣйствуетъ морозъ, гальваническій токъ (сильный), при извѣстной концентраціи спиртъ, кислоты, щелочи, растворы солей и др.

Пластиды. Кромѣ протоплазмы и ядра внутри клѣтки находятся и другія бѣлковыя соединенія, извѣстныя подѣ общимъ названіемъ „пластиды“. Въ зависимости отъ окраски они дѣлятся на три группы: хлорофилловыя зерна, пигментныя зерна и лейкопласты. Окраска всякой зеленой клѣтки зависитъ отъ присутствія въ ея протоплазмѣ хлорофилловыхъ зеренъ; сама же протоплазма безцвѣтна. Хлорофилловыя зерна, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, составляютъ одинъ изъ важнѣйшихъ органовъ клѣтки.

Пигментныя зерна (хромопласты) окрашиваютъ въ желтый и красный цвѣтъ цвѣты и плоды. Въ основѣ пигментныхъ зеренъ также лежитъ бѣлковое вещество. Въ безцвѣтныхъ частяхъ растений (корни, корневица, клубни) также находятся пластиды—безцвѣтныя: лейкопласты или крахмалообразователи, ибо въ нихъ образуется крахмалъ.

Клѣточный сокъ. Какъ было уже замѣчено, въ болѣе старыхъ клѣткахъ образуются вакуоли, наполненныя клѣточнымъ сокомъ. Послѣдній представляетъ собой водный растворъ самыхъ разнообразныхъ веществъ: сахара, пигментовъ, алколоидовъ, растворимыхъ бѣлковыхъ веществъ, дубильныхъ веществъ, иногда содержитъ свободную органическую кислоту (лимонную, щавелевую и т. п.), а также вещества минеральныя. Реакція клѣточного сока болѣею частью кислая, но независимо отъ этого живая протоплазма имѣетъ щелочную реакцію. Послѣ смерти протоплазмы все содержимое клѣтки получаетъ общую щелочную реакцію.

Оболочка клѣточки. Какъ было уже замѣчено, древесина сухого дерева состоитъ преимущественно изъ клѣточекъ, въ которыхъ протоплазма исчезла и въ наличности одна лишь оболочка. Слѣдовательно строителю исключительно приходится имѣть дѣло съ веществомъ клѣточной оболочки. Оболочка молодой клѣтки представляетъ собою тонкую, однородную, стеклянноподобную перепонку и состоитъ изъ углевода, особаго вещества, называемаго клѣтчаткою или целлюлозою $C_6(H_2O)_5—C_6H_{10}O_5$. Клетчатка имѣетъ, слѣдовательно, составъ крахмала, но различныя, однако, отъ него свойства. Примѣромъ почти химически чистой клѣтчатки можетъ служить шведская пропускная бумага. Реактивомъ на клѣтчатку является такъ наз. хлорциндіодъ (водный растворъ хлористаго цинка, іодистаго калия и іода. Онъ окрашиваетъ клѣточные оболочки въ сине-фіолетовый цвѣтъ. Крѣпкая сѣрная кислота, хромовая кислота и аммиачный растворъ окиси мѣди растворяютъ клѣтчатку, но лишь послѣдній реактивъ (Швейцера) не измѣняетъ при

раствореніи ея химическаго состава. Отъ дѣйствія кислотъ клѣтчатка превращается въ другіе углеводы: декстринъ, амилоидъ ($C_6H_{10}O_5$) или въ сахаръ $C_6H_{12}O_6$, въ зависимости отъ продолжительности ихъ дѣйствія. Обладая среднею реакціей, клѣтчатка съ трудомъ вступаетъ въ химическія соединенія. Наиболѣе извѣстенъ изъ послѣднихъ пироксилинъ (тринитроклѣтчатка), получаемый путемъ замѣщенія паевъ водорода группою NO_2 . Составъ пироксилина или бумажнаго пороха: $C_6H_7(NO_2)_3O_5$. Въ теченіе жизни клѣтчатка подвергается различнымъ измѣненіямъ, какъ механическаго, такъ и химическаго характера. Въ молодости, какъ было сказано, главная масса оболочки состоитъ изъ целлюлозы. Молодая клѣтчатка растетъ какъ въ поверхность, такъ и въ толщину. Ростъ въ толщину идетъ путемъ наложенія новыхъ слоевъ на болѣе старыя (теорія аппозиціи). Въ клѣточной оболочкѣ обнаруживается слоистость. На фиг. 239 изображенъ послѣдовательный ростъ камбіальныхъ клѣточекъ сосны. 1—Тонкія, молодыя клѣтки; 2—клѣтки значительно выросшія въ поверхность, но состоящія пока изъ однихъ лишь первичныхъ оболочекъ. Когда ростъ въ поверхность окончится, начинается постепенное отложеніе вторичнаго, затѣмъ третичнаго и т. д. слоя. Въ поверхность ростъ клѣточекъ происходитъ такимъ образомъ, что протоплазма растягиваетъ молодую оболочку и въ образовавшіеся промежутки вставляются новыя частицы. Матеріалъ клѣточной оболочки есть продуктъ распаденія протоплазмы; поэтому отложеніе клѣтчатки сопровождается уменьшеніемъ количества протоплазмы. Кромѣ органическихъ веществъ болѣе старыя клѣтки заключаютъ въ своихъ оболочкахъ всегда болѣе или менѣе значительное количество минеральныхъ веществъ. Кромѣ слоистости въ оболочкахъ клѣтокъ по мѣрѣ ихъ роста обнаруживается также и полосатость въ видѣ косыхъ, перекрещивающихся линій (фиг. 240). Оболочки клѣтокъ утолщаются иногда равномерно, иногда же имѣетъ мѣсто лишь мѣстное утолщеніе. Утолщеніе можетъ быть такъ велико, что полость клѣтки представляется лишь въ видѣ узкаго отверстія (фиг. 241). Иногда полость клѣтки и совершенно исчезаетъ. Мѣстное утолщеніе въ видѣ колецъ, спиральныхъ лентъ, сѣтки и т. п. вообще увеличиваетъ сопротивленіе клѣтокъ внѣшнимъ механическимъ усиліямъ. Клѣточные оболочки, однако не вполне разобщаютъ содержимое двухъ сосѣднихъ клѣтокъ: часть оболочки является неутолщенной настолько, что путемъ діасмоза можетъ безпрепятственно продолжаться обмѣнъ веществъ. Эти тонкія, неутолщенные мѣста оболочекъ называются порами. Послѣднія иногда пронизаны тончайшими канальцами. Въ этихъ канальцахъ залегаютъ протоплазматическія нити, соединяющія протоплазмы сосѣднихъ клѣтокъ. Слѣдовательно протоплазмы многоклѣточной ткани составляютъ какъ бы одно цѣлое (фиг. 242).

Кромѣ физическихъ измѣненій во время жизни клѣтки ея оболочка подвергается еще различнымъ химическимъ процессамъ, изъ ко-

торыхъ важнѣйшіе: одеревенѣніе или одревеснѣніе, опробкованіе и ослизненіе.

Одревеснѣніе. Съ химической точки зрѣнія одревеснѣніе обуславливается появленіемъ особаго вещества „лигнина“. Это сложное, безазотистое соединеніе богаче углеродомъ, но бѣднѣ кислородомъ, нежели углеводы. Вслѣдствіе большаго содержанія углерода, одревеснѣвшая клѣтчатка представляетъ собою лучшій горючій матеріалъ, чѣмъ чистая клѣтчатка. Одеревенѣвшая клѣтчатка окрашивается хлорцинкіодомъ не въ фіолетовый цвѣтъ, но въ желтый. Реактивъ Шульце (смѣсь азотной кислоты съ бертолетовой солью) растворяетъ лигнинъ; слѣдовательно, обрабатывая клѣтчатку этимъ реактивомъ, мы въ состояніи извлечь продукты одеревенѣнія. Одеревенѣніе оболочки клѣтчатки сопровождается также измѣненіемъ ея физическихъ свойствъ. Тогда какъ чистая клѣтчатка упруга и эластична, древесина тверда и ломка. Способность впитывать воду и разбухать уменьшаются. Одеревенѣвшія клѣточки увеличиваютъ крѣпость всего организма, а такъ какъ крѣпостью долженъ главнымъ образомъ обладать стволъ, то и понятно почему одревенѣніе преимущественно имѣетъ мѣсто въ этой части растенія. Слѣдуетъ однако замѣтить, что одревеснѣніе клѣточекъ не влечетъ за собою непременно ихъ смерти. Такъ, напр. нѣкоторыя одеревенѣвшія клѣточки древесины періодически набиваются крахмаломъ, т. е. обнаруживаютъ жизнеспособность.

Опробкованіе. Это явленіе обуславливается появленіемъ въ оболочкѣ клѣточки особаго вещества „суберина или кутина“. Составъ кутина не вполне опредѣленъ, извѣстно лишь, что это тѣло еще бѣднѣ кислородомъ, чѣмъ лигнинъ. Суберинъ красится хлорцинкіодомъ въ золотисто-желтый цвѣтъ. Въ пробку можетъ превратиться либо вся оболочка клѣточки (и тогда клѣточка неминуемо умираетъ, либо часть ея). По своимъ физическимъ свойствамъ пробка рѣзко отличается отъ целлюлозы и древесины; она прекрасно противостоитъ гніенію и не пропускаетъ черезъ себя ни воды ни газовъ. Отсюда ясно, почему опробкованію подвергаются тѣ клѣточки, которыя нуждаются въ защитѣ отъ сильнаго испаренія и вообще отъ неблагоприятныхъ атмосферныхъ условій (напр. на поверхности растеній.)

Ослизненіе выражается превращеніемъ всей оболочки или ея части въ какую либо камедь или слизь. Последнія суть углеводы вида $C_6H_{10}O_5$ или близкаго къ нему $C_{12}H_{22}O_{11}$. Въ водѣ ослизнѣвшія оболочки разбухаютъ и растворяются. Поэтому если ослизненію подвергаются часть оболочки, но во всю ея толщину, то получаются отверстія, помощью которыхъ сообщаются между собою полости сосѣднихъ клѣточекъ. Кромѣ нормальнаго ослизненія въ растеніяхъ наблюдается иногда и ослизненіе паталогическое, приписываемое дѣйствію особаго грибка. Образованіе вишневаго клея, аравійской камеди—суть примѣры болѣзненнаго ослизненія.

Вышеизложеннымъ химическимъ процессамъ можетъ подвергаться либо вся клѣточная оболочка, либо опредѣленная ея часть. Наконецъ въ одно и то же время различныя части оболочки могутъ подвергаться различнымъ процессамъ. По формамъ клѣточки дѣлятся на „паренхиматическія“—имѣющія всѣ три измѣренія приблизительно одинаковыми; „прозенхиматическія“—сильно вытянутыя по одному направленію и „таблицеобразныя“. Размѣры клѣточекъ: а) паренхиматическихъ 0,0075—1 мм. въ діаметръ; діаметръ прозенхиматическихъ 0,015 — 0,02 мм., длина 2—3 мм.

Размноженіе клѣтокъ. Не такъ давно полагали, что возможно искусственнымъ путемъ приготовить простѣйшіе организмы, напр. бактеріи. Въ младенческой періодъ естествознанія были даже неоднократныя попытки приготовить искусственнаго человѣчка (*homunculus'a*). Но въ настоящее время, благодаря многочисленнымъ наблюденіямъ и опытамъ (особенно Пастера надъ бактеріями), безспорно установлено, что новыя клѣтки возникаютъ не путемъ „произвольнаго зарожденія“, но исключительно изъ клѣточекъ, ранѣе существовавшихъ, причемъ ядро новой клѣточки получается изъ ядра прежней, протоплазма—изъ протоплазмы. Когда-то въ очень отдаленную отъ насъ эпоху организмы появились на землѣ, и изъ нихъ уже путемъ размноженія образовались и въ настоящее время образуются новыя. Въ настоящее время извѣстно нѣсколько способовъ размноженія, но въ интересующихъ насъ растенійхъ увеличеніе числа клѣтокъ происходитъ почти исключительно путемъ „дѣленія“, а потому мы скажемъ нѣсколько словъ лишь объ этомъ послѣднемъ методѣ. Въ общихъ чертахъ дѣленіе клѣтокъ состоитъ въ томъ, что ядро клѣтки раздвигается, затѣмъ появляется перегородка, дѣлящая клѣтку на двѣ, причемъ въ каждой находится часть протоплазмы и половинка ядра. Наконецъ обѣ половинки клѣточки обособляются и изъ материнской клѣтки появляются двѣ дочернихъ. На фиг. 243 и 244 изображены послѣдовательныя стадіи дѣленія ядра и клѣтки.

ТКАНИ. Въ молодыхъ растущихъ частяхъ (напр. въ верхушкѣ стебля) всѣ клѣтки сходны между собою, но разсматривая болѣе старыя части растеній мы, поражаемся разнообразіемъ строенія и величины составляющихъ ихъ клѣточекъ. По мѣрѣ роста растенія клѣточки распадаются на нѣсколько группъ, изъ которыхъ каждая беретъ на себя опредѣленныя функціи, такъ сказать специализируется, приспосабливается къ окружающимъ внѣшнимъ условіямъ. Происходитъ нѣчто въ родѣ раздѣленія труда между отдѣльными группами клѣточекъ. Каждая группа клѣтокъ одинаковаго строенія, приспособленная для одной какой-либо функціи, составляетъ „ткань“. Ткани дѣлятся на „образовательныя“, „кроющія“, „механическія“ и „проводящія“. Подобно тому какъ изъ отдѣльныхъ кирпичей строится домъ—изъ отдѣльныхъ клѣточекъ воздвигается природою зданіе растенія. Кирпичи въ сооруже-

нияхъ связаны помощью растворовъ, отдѣльныя клѣточки склеены особымъ веществомъ, называемымъ „межклѣточнымъ“. Это вещество растворяется при кипяченіи въ растворѣ хромовой кислоты. На этомъ приѣмѣ основано „мацерированіе“, т. е. разъединеніе клѣточекъ другъ отъ друга. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ сходятся нѣсколько клѣточекъ, между послѣдними образуются небольшія полости—межклѣточные пространства. Сильно развитыя межклѣточные пространства, имѣющія формы каналовъ называются межклѣточными ходами. Они могутъ быть наполнены смолою (смоляные ходы), воздухомъ или другими газами (воздухоносные межклѣточные ходы) (см. фиг. 244).

1) *Паренхима*. Если разсматривать разрѣзъ верхушки стебля какого-либо растенія подъ микроскопомъ, то можно усмотрѣть, что оно состоитъ изъ клѣтокъ очень мало отличающихся другъ отъ друга. Клѣтки эти паренхиматическія, богатая протоплазмой, содержащая ядра. Эти клѣточки образуютъ самостоятельный видъ ткани. Назначеніе ихъ размножаться, т. е. служить для образованія прочихъ тканей. Поэтому разсматриваемая ткань носитъ названіе „первичной паренхимы“ (или меристемы) или „первично образовательной ткани“. Клѣтки первичной паренхимы при дальнѣйшемъ развитіи дифференцируются въ различныя ткани. На фиг. 244 изображены клѣточки первичной паренхимы *).

2) *Кроющія ткани* имѣютъ цѣлю защищать различныя части растеній отъ неблагоприятныхъ внѣшнихъ условій. Поэтому клѣтки, составляющія кроющую ткань рѣзко отличаются отъ остальныхъ клѣтокъ. Листья и молодые стебли покрыты „эпидермисомъ“. Клѣтки эпидермиса имѣютъ табличный видъ и наружныя ихъ стѣнки всегда болѣе или менѣе сильно утолщены. Въ клѣткахъ эпидермиса всегда находится протоплазма и ядро, т. е. это клѣтки живыя, способныя размножаться. У очень многихъ растеній нѣкоторая часть эпидермальныхъ клѣтокъ разрастается въ разнообразныя волоски, имѣющія разнообразныя значенія (волоски хмеля — для охватыванія стебля вокругъ котораго онъ вьется; волоски крапивы — для защиты отъ животныхъ). Въ растительномъ царствѣ также встрѣчаются волоски, предохраняющіе растеніе отъ сильнаго испаренія влаги днемъ и охлажденія ночью и т. п.). Кроющія ткани стебля значительно отличаются отъ соотвѣствующихъ тканей корня. Вѣдь первыя должны защищать стволъ отъ излишней траты воды, а вторыя, наоборотъ, — хорошо пропускать черезъ себя воду. Поэтому, тогда какъ кроющая ткань стебля состоитъ изъ клѣточекъ съ оболочками малопроницаемыми для воды, — кроющая ткань корня состоитъ изъ клѣтокъ съ тонкими оболочками клѣтчатки, хорошо пропускающими черезъ себя воду. На этомъ основаніи покровная ткань молодыхъ корней называется также „поглощающею тканью“. По мѣрѣ

*) Паренхимныя клѣтки служатъ также запасными амбарами для отложенія питательныхъ веществъ: крахмала, масла и др.

роста растенія на смѣну эпидермиса стебля и корня появляется новая кроющая ткань — „пробковая“, цѣль которой защищать многолѣтніе стебли и корни отъ неблагопріятныхъ климатическихъ условій и механическихъ поврежденій. Мы уже имѣли случай говорить объ „опробкованіи“ оболочки клѣтокъ.

3) *Механическія ткани*. Механическія ткани служатъ для защиты растенія отъ внѣшнихъ механическихъ усилій. Располагаясь извѣстнымъ образомъ между образовательными и иными частями растенія они увеличиваютъ его сопротивленіе изгибу и растяженію. Механическіе элементы дѣлятся на колленхиму и склеренхиму. Группы колленхимы служатъ для увеличенія прочности только молодыхъ, еще растущихъ частей растеній, поэтому они состоятъ изъ живыхъ клѣтокъ, способныхъ дѣлиться (содержать протоплазму, ядро и хлорофилловые зерна). Тонкія оболочки колленхиловыхъ клѣтокъ сильно утолщены въ углахъ и плотно соединены между собою (фиг. 245).

Склеренхимныя клѣтки часто очень вытянуты и поэтому носятъ названіе „волоконъ“. Склеренхимныя волокна состоятъ почти исключительно изъ мертвыхъ клѣтокъ. Оболочки ихъ сильно утолщены, иногда на столько, что полость клѣтки почти сводится на нѣтъ (см. фиг. 241). По мѣсту нахожденія склеренхимныя волокна дѣлятся на „лубныя“, находящіеся въ корѣ и „либриформныя“ (либриформъ), находящіеся въ древесинѣ. Оболочки лубяныхъ волоконъ обыкновенно состоятъ изъ болѣе или менѣ чистой клѣтчатки, а оболочки клѣтокъ либриформа подобно древесинѣ, состоятъ изъ одеревенѣвшей клѣтчатки. Волокна либриформа представляютъ механической элементъ древеснаго ствола, увеличивающій его сопротивленіе изгибу. Произведенныя надъ различными склеренхимными волокнами опыты доказали, что сопротивляемость нѣкоторыхъ изъ нихъ разрыву иногда равны, а иногда даже превосходятъ сопротивляемость желѣза и стали при весьма высокой степени пластичности. Изучая строеніе различныхъ стволовъ, можно усмотрѣть, что въ способѣ распредѣленія описываемыхъ механическихъ элементовъ, природа обнаружила искусство опытнаго инженера. Такъ какъ наиболѣе часто стволъ подвергается изгибу, то механическіе элементы послѣдняго распредѣлены въ общей массѣ древесины, подобно распредѣленію матеріала въ балкѣ; т. е. достигнута извѣстная прочность при возможно незначительной затратѣ вещества.

4) *Проводящія ткани* служатъ для проведенія питательныхъ веществъ. Нѣкоторыя изъ нихъ служатъ для проведенія влаги изъ почвы черезъ корни къ листьямъ, другія для доставленія органическихъ веществъ, вырабатываемыхъ листьями, другимъ частямъ растенія.

Ткани проводящія воду представляютъ группы клѣтокъ сильно вытянутыхъ въ длину, на подобіе капиллярныхъ трубокъ. Это суть мертвые элементы, ибо въ нихъ не замѣчается и слѣдовъ протоплазмы. Для того, чтобы предохранить отъ сплющиванія сосѣдними живыми клѣтками, стѣнкамъ проводящихъ трубокъ придаются различной

формы утолщенія: спиральныя, сѣтчатыя, кольчатыя и др. Элементы, проводящіе воду дѣлятся на двѣ группы: на „трахеи“ или сосуды и „трохеиды“. Трохеи происходятъ черезъ сліяніе вертикальныхъ рядовъ клѣтокъ въ непрерывную трубку—сосудъ, причѣмъ поперечныя перегородки ихъ вполнѣ или только отчасти исчезаютъ. По длинѣ трохей почти равняются длинѣ всего растенія. Трохеи или сосуды встрѣчаются въ древесинѣ лиственныхъ деревьевъ; хвойныя породы совсѣмъ не имѣютъ сосудовъ, но зато ихъ древесина почти вся цѣликомъ состоитъ изъ трохейдъ. Трохеиды отличаются отъ сосудовъ главнымъ образомъ отсутствіемъ отверстій, соединяющихъ полости однѣхъ клѣтокъ съ полостями другихъ. Такимъ образомъ трохейды представляютъ изъ себя только очень длинныя клѣтки (до 12 см.) хотя, разумѣется, сосуды гораздо длиннѣе. На фиг. 246 и 247 представлены поперечный и продольный разрѣзъ трохейды хвойныхъ деревъ съ окаймленными порами. Содержимое трохейдъ, какъ и сосудовъ, состоитъ изъ воды и разрѣженного воздуха.

Ткани, проводящія органическія вещества по растенію. Сюда принадлежатъ ситовидныя трубки и млечныя сосуды. Ситовидныя трубки получили свое названіе отъ перегородокъ, продырявленныхъ множествомъ мелкихъ отверстій, на подобіе сита. Черезъ отверстія этихъ поперечныхъ пластинокъ (фиг. 248) содержимое одной клѣтки можетъ сообщаться съ содержимымъ другой. Стѣнки ситовидныхъ трубокъ выложены внутри слоемъ протоплазмы и имѣютъ щелочную реакцію. Млечныя сосуды встрѣчаются лишь у растений съ такъ называемымъ млечнымъ сокомъ (макъ, колокольчиковыя и др.), тогда какъ ситовидныя трубы свойственны всѣмъ высшимъ растеніямъ.

Элементы, проводящіе воду и органическія вещества не разбросаны по растеніямъ безъ всякаго порядка, но собраны въ особые кучки, называемыя *сосудисто-волокнистыми пучками*. Волокнистыми наз. потому, что вокругъ сосудовъ обыкновенно располагаются механическіе элементы растенія. Такъ какъ въ строительной Technikѣ приходится имѣть дѣло преимущественно съ стволами хвойныхъ и лиственныхъ деревьевъ, то познакомимся нѣсколько подробнѣе съ анатоміей стебля хвойныхъ и двусѣядольныхъ растений. Вообразимъ себѣ стебель и начнемъ изслѣдовать его съ верхушки (съ такъ называемой точки роста) постепенно переходя къ болѣе развитымъ частямъ. Разрѣзъ сдѣланный у верхушки стебля покажетъ намъ, что она состоитъ изъ однородныхъ, живыхъ паренхиматическихъ клѣточекъ. Ткань, составленная изъ этихъ клѣточекъ, какъ намъ извѣстно уже служитъ исключительно для образованія прочихъ тканей и поэтому называется первичною образовательною тканью, первичною паренхимой или меристемой. У многихъ растений (вѣроятно также у хвойныхъ), сама первичная паренхима есть продуктъ дѣленія одной верхушечной клѣтки *s* (фиг. 249 — разрѣзъ верхушки стебля хвоща). Сдѣлаемъ теперь разрѣзъ нѣсколько ниже; рассматривая его подъ микроскопомъ, мы замѣчаемъ первые признаки дифферен-

цированія, состоящаго въ появленіи отдѣльныхъ группъ вытянутыхъ прозенхиматическихъ клѣтокъ; во всемъ остальномъ эти клѣтки сходны съ первичными. Эти вытянутыя въ длину клѣтки составляютъ такъ наз. „прокамбій“ или „вторично образовательную ткань“. Прокамбій даетъ начало системѣ сосудисто-волокистыхъ пучковъ, расположенныхъ на разрѣзахъ молодыхъ частей стебля по кругу (фиг. 250). Этими пучками основная паренхиматическая ткань дѣлится на слѣдующія части: „сердцевину“ т или внутреннюю часть, „первичную кору“ г, или наружную часть, наконецъ участки основной ткани, лежащія между пучками называются „первичными сердцевинными лучами“. Они, слѣдовательно соединяютъ первичную кору съ сердцевиною. Часть сосудисто-волокистаго пучка, занятая элементами, проводящими воду, т. е. элементами мертвыми (сосуды, трахеиды) называется *ксилемою или древесиной*, часть же занятая элементами, проводящими органическія вещества—*флоэмою* или *лубомъ*. Какъ мы уже видѣли, въ составъ послѣднихъ входятъ преимущественно элементы живые, неодревеснѣвшіе. Флоэма пучка обыкновенно бываетъ обращена къ окружности, а ксилема къ центру стебля. На фиг. 250, х представляетъ ксилему, р — флоэму. Между ксилемою и флоэмою въ сосудисто-волокистыхъ пучкахъ бываетъ расположенъ слой дѣятельной, т. е. способной производить новыя клѣтки, ткани. Клѣтки этой ткани наполнены протоплазмою и вытянутымъ ядромъ. Ткань эта носитъ названіе „камбія“ (f. фиг. 250). Таково первичное строеніе стебля. Съ возрастомъ дерева наступаютъ „вторичныя измѣненія“. Прежде всего начинаютъ образоваться изъ паренхимныхъ клѣточекъ первичныхъ сердцевинныхъ лучей новыя клѣтки „межпучкового камбія“ (фиг. 250 i, с). Оба камбія: пучковый и межпучковый, сливаясь образуютъ такъ наз. камбіальное кольцо. Сплошное кольцо пучкового камбія, путемъ дѣленія его клѣтокъ, отлагаетъ внутрь сплошняго кольца ксилемы, а въ наружную сторону—кольца флоэмы. Совокупность сплошныхъ колецъ ксилемы носитъ названіе „вторичной древесины“, въ отличіе первичной—ксилемы отдѣльныхъ сосудисто-волокистыхъ пучковъ. Утолщеніе стебля и обусловливается этой творческою дѣятельностью камбіальнаго кольца. Наружу отъ камбіальнаго кольца отлагается „вторичная кора“.

Вторичная древесина хвойныхъ почти исключительно состоитъ изъ трахеидъ съ окаймленными порами, смоляныхъ ходовъ и вторичныхъ сердцевинныхъ лучей. Вторичными сердцевинными лучами называются прослойки паренхиматическихъ клѣточекъ, расположенныхъ радіально по ксилемѣ и флоэмѣ. Въ отличіе отъ первичныхъ сердцевинныхъ лучей, они иногда до сердцевины не доходятъ. Строеніе и расположеніе вторичныхъ сердцевинныхъ лучей видно изъ рис. 251, изображающаго часть ствола старой сосны, разрѣзанной поперечно, радіально и тагентально.

Древесина двусѣмядольныхъ растений состоитъ изъ значительно-большаго числа элементовъ. Къ числу ихъ принадлежатъ 1) *древесная*

паренхима. Ея паренхиматическія кліточки служатъ главнымъ образомъ для накопленія и передачи питательныхъ веществъ; 2) *замѣняющія волокна* (иногда замѣняютъ древесную паренхиму). 3) *Либриформъ* и 4) *перегородчатый либриформъ*, какъ намъ уже извѣстно представляетъ механическій элементъ. 5) *сосуды и трахеиды*.

Годи́чные сло́и. Слои древесины, образовавшіеся въ теченіе одного года называется „годи́чными слоями“. Это концентрическіе слои, которые ясно можно замѣтить и даже сосчитать на поперечномъ разрѣзѣ нѣкоторыхъ деревьевъ, особенно хвойныхъ породъ. Чѣмъ ближе слой къ сердцевинѣ, тѣмъ онъ старше и наоборотъ. По числу отдѣльныхъ годи́чныхъ слоевъ можно судить о возрастѣ какъ всего дерева, такъ и его отдѣльныхъ сучьевъ. Образование этихъ колецъ обуславливается періодической остановкой растительныхъ процессовъ зимою. Въ нашемъ климатѣ камбіальное кольцо прекращаетъ къ зимѣ свою дѣятельность, въ теченіе зимы остается бездѣтельнымъ, чтобы вновь съ наступленіемъ весны начать отложеніе кліточекъ ксилемы и флоэмы. Но ясно, однако, если бы кліточки, образующіяся въ различные времена года, ничѣмъ не отличались другъ отъ друга, то мы не имѣли бы возможности отличить одно годовое кольцо отъ другого. Всѣ они сливались бы въ одну сплошную массу. Замѣтная на глазъ граница между двумя соедѣнными годовыми слоями обуславливается рѣзкою разницею въ формѣ осеннихъ и весеннихъ кліточекъ. Первые толстостѣнны и сплюснуты, вторые почти квадратной формы, стѣнки тонкія, просвѣтъ большой. На фиг. 252 легко усмотрѣть какъ рѣзко переходъ отъ осеннихъ кліточекъ къ весеннимъ. Таковъ разрѣзъ древесины сосны подъ микроскопомъ; простымъ глазомъ въ каждомъ годи́чномъ кольцѣ можно отличить двѣ части: весеннюю — болѣе свѣтлую и рыхлую, лежащую ближе къ сердцевинѣ и осеннюю — болѣе темную и плотную, лежащую ближе къ корѣ. У лиственныхъ породъ различіе между осенними и весенними кліточками не столь рѣзко, какъ у деревьевъ породъ хвойныхъ. На ширину годи́чныхъ слоевъ вліяютъ многіе факторы: климатъ, почва, освѣщеніе, родъ дерева, возрастъ и др. Напримѣръ хвойныя породы, выросшія на сѣверѣ имѣютъ узкіе слои и болѣе плотную древесину, чѣмъ выросшія на югѣ. Обратное явленіе наблюдается у породъ лиственныхъ. Здѣсь чѣмъ шире слой тѣмъ древесина плотнѣе. Сухая почва подобно суровому климату и неблагоприятной погодѣ, способствуетъ образованію болѣе тонкихъ годи́чныхъ колецъ. Ширина годи́чныхъ слоевъ зависитъ также отъ природы растенія. Такъ, напр. тиссъ обладаетъ весьма узкими слоями, — тополь — широкими. Извѣстно, что стебли, выросшіе въ темнотѣ представляются болѣе водянистыми и менѣе стойкими растеній, выросшихъ въ свѣтломъ мѣстѣ. Свѣтъ повидимому измѣняетъ направленіе роста: стѣнки кліточекъ вмѣсто того, чтобы раздаваться, разрастаться по всѣмъ направленіямъ, — утолщаются. Одиноко стоящія деревья образуютъ болѣе широкіе слои, чѣмъ деревья,

подавленные густою чащей лѣса *). Очень часто древесина нѣсколькихъ послѣднихъ годовъ отличается, какъ цвѣтомъ, такъ и прочностью отъ болѣе старой древесины. Молодая древесина (наружная), болѣе свѣтлая называется заболонью или оболонью, а внутренняя, болѣе темная—ядромъ **). Относительное расположеніе различныхъ частей вполне развитаго древеснаго ствола выясняется изъ рассмотрѣнія рис. 253.

Процессы питанія и роста дерева.

Познакомимся теперь съ веществами, необходимыми для роста растенія и со способами ихъ воспринятія и переработки организмами растительнаго царства.

Чтобы рѣшить вопросъ относительно состава питательныхъ веществъ, необходимыхъ для поддержанія жизни растенія, обратимся къ клѣткѣ—этой основѣ всякаго растенія, и постараемся опредѣлить ея химическій составъ. Мы уже знаемъ, что всякая живая клѣтка состоитъ изъ оболочки, протоплазмы и ядра. Матеріаломъ для образованія оболочки является клѣтчатка—состава $C_6H_{10}O_5$; протоплазма есть сложное бѣлковое азотистое вещество; въ составъ ея входятъ углеродъ, азотъ, водородъ, кислородъ и сѣра. Въ составъ ядра, кромѣ названныхъ веществъ входитъ еще и фосфоръ. Затѣмъ мы знаемъ, что въ нѣкоторыхъ клѣткахъ содержится крахмалъ, $C_6H_{10}O_5$, сахаристыя вещества $C_6H_{12}O_6$, жиры и летучія масла. Помимо органическихъ веществъ въ составъ растительныхъ тканей всегда входятъ и элементы минеральнаго царства. Если сжечь, напр. древесину, то въ остаткѣ получимъ золу—смѣсь минеральныхъ солей. Относительное количество золы въ деревѣ колеблется въ предѣлахъ 0,5—1,5%. Затѣмъ въ растеніяхъ всегда содержится и вода. Различныя деревья содержатъ отъ 20 до 60% H_2O . Элементарный составъ дубовой древесины по Шевандье слѣдующій (составъ органическихъ веществъ):

Углерода	50,64%
Кислорода	42,05%

*) Въ стеблѣ растенія, выросшаго въ тѣни, замѣчается уменьшеніе количества механическихъ и проводящихъ элементовъ и преобладаніе тонкостѣнной паренхимы (залеганіе хлѣбцовъ). Любопытно однако, что непрерывный свѣтъ оказываетъ также, какъ и недостатокъ его, вредное вліяніе на ростъ растенія. Ночной покой необходимъ для нормальнаго развитія тканей. Въ отсутствіе свѣта и при непрерывномъ освѣщеніи растеній въ нихъ замѣчается уменьшеніе дифференцировки тканей. Растенія получаютъ съ болѣе простымъ анатомическимъ строеніемъ.

**) Кромѣ ядра и заболони лѣсоводы различаютъ еще спѣлую древесину, которая имѣетъ цвѣтъ одинаковый съ заболонью, но отличается какъ отъ заболони, такъ и отъ ядра совершенно рѣзко, безъ постепенныхъ переходовъ.

Водорода	6,03%
Азота	1,28%

Въ настоящее время доказано, что изъ переименованныхъ элементовъ углеродъ доставляется растенію именно его листьями изъ воздуха, всѣ же остальные—изъ почвы при помощи корней. Прежде чѣмъ познакомиться съ процессомъ питанія растений, коснемся слегка анатоміи листа и корня—этихъ двухъ органовъ воспринятія пищи. Корень служить для воспринятія пищи изъ почвы, листья—изъ воздуха.

Листъ. Если дать листу вылежаться въ водѣ, то его затѣмъ легко распластать на слои: верхнюю кожицу, среднюю часть и нижнюю кожицу.

Средняя часть листа состоитъ изъ мякоти, прорѣзанной цѣлою сѣткою нѣжныхъ жилокъ. Жилки эти являются продолженіемъ соудисто-волокнистыхъ пучковъ стебля и служатъ для проведенія питательныхъ соковъ, кромѣ того исполняютъ и механическую роль, поддерживая листъ въ растянутомъ видѣ. Разсматривая разрѣзъ листа подъ микроскопомъ (фиг. 254), мы видимъ, что мякоть состоитъ изъ двоякаго рода клѣточекъ: столбчатыхъ въ верхней части листа, расположенныхъ вертикально къ поверхности листа и неправильной формы ниже лежащихъ. Всѣ клѣточки мякоти, въ особенности же столбчатые, ближайшія къ верхней поверхности листа, содержатъ мелкія зерна хлорофила, окрашивающія листъ въ зеленый цвѣтъ и играющія, какъ вскорѣ узнаемъ, важную роль въ процессѣ питанія. Въ нижней, менѣе зеленой кожицѣ, расположены небольшія отверстія—устыцы, помощью которыхъ листъ можетъ сообщаться съ наружною атмосферою.

Корень. Корни служатъ для прикрѣпленія растенія къ мѣсту, а также для воспринятія пищи изъ почвы. Возьмемъ напр. корень сосны или дуба. Мы увидимъ, что онъ состоитъ изъ главнаго (стержневого корня) имѣющаго при основаніи такую же толщину, какъ и нижняя часть ствола, которая затѣмъ быстро уменьшается: корень принимаетъ форму рѣдки. На главномъ корнѣ вырастаютъ побочныя развѣтвленія. По внутреннему строенію корни мало чѣмъ отличаются отъ ствола и также покрыты корою. Собственно питаніе происходитъ при помощи такъ наз. „мочекъ“ тонкихъ, нѣжныхъ нитей, выходящихъ изъ молодыхъ частей корня. Мочки эти тянутся по всѣмъ направленіямъ въ землѣ и занимаютъ огромную поверхность *). Одинъ терпѣливый нѣмецъ высчиталъ, что общая длина всѣхъ частей корня пшеницы безъ волосковъ=520 саж., число волосковъ=10 милліон., а общая ихъ длина болѣе 20-ти верстъ.

*) Часть мочки бываетъ часто покрыта множествомъ мелкихъ волосковъ, представляющихъ собственно очень вытянутыя клѣточки. Этими то волосками и воспринимается пища.

Если разсматривать конецъ мочки подъ микроскопомъ, то легко усмотрѣть, что его нѣжныя, молодыя клѣточки окружены на самомъ концѣ футляромъ („чехликъ“) (фиг. 255) изъ старыхъ, отмирающихъ и загрузѣвшихъ снаружи клѣточекъ. Всякій корень, подобно стеблю, растетъ удлиняясь на своей верхушкѣ. Чехликъ служитъ для защиты молодыхъ клѣточекъ мочки отъ поврежденія. Только толкая предъ собою чехликъ, онъ въ состояніи пролагать себѣ путь среди грубыхъ и острыхъ частичекъ почвы.

Изъ вышеприведенныхъ элементовъ растенія, вода, минеральныя соли, азотъ, кислородъ, сѣра и фосфоръ доставляются изъ почвы корнями, углеродъ же листьями воспринимающими его, въ видѣ углекислоты воздуха. Несмотря на содержаніе азота въ огромномъ количествѣ въ воздухѣ, можно съ увѣренностью сказать, что онъ не воспринимается растеніями изъ послѣдняго, но доставляется почвою въ видѣ амміака и солей азотной кислоты. Намъ теперь извѣстны главнѣйшіе элементы растительной клѣточки. Мы знаемъ, что растительная клѣточка представляетъ изъ себя закрытый со всѣхъ сторонъ перепончатый пузырекъ, безъ какихъ либо органовъ хватанія. Какимъ же образомъ въ этотъ пузырекъ проникаетъ пища: газообразная въ видѣ— CO_2 , жидкая въ видѣ растворовъ различныхъ солей въ водѣ и даже твердая, нерастворимая въ водѣ въ видѣ напр. углекислой извести, средней фосфорнокальцевой соли и другихъ. Чтобы дать отвѣтъ на этотъ вопросъ, намъ придется обратиться на время къ физикѣ, именно къ явленію „диффузіи“. Диффузіей вообще называется способность, стремленіе вещества разсѣиваться, распространяться въ пространствѣ, проникать всюду, гдѣ его еще нѣтъ. Нѣтъ матеріи безъ движенія. Это движеніе рѣзче всего обнаруживается въ газахъ, затѣмъ въ жидкостяхъ и въ значительно меньшей степени въ твердыхъ тѣлахъ.

Предположимъ, что въ сосудъ налиты съ извѣстными предосторожностями двѣ жидкости: болѣе тяжелая на дно, а поверхъ ея болѣе легкая. Обѣ жидкости бѣзцвѣтны, но при смѣшиваніи другъ съ другомъ образуютъ красный растворъ. Въ началѣ опыта на границѣ обѣихъ жидкостей видна лишь узкая красная полоса; но съ теченіемъ времени полоса становится шире и по прошествіи нѣсколькихъ часовъ вся жидкость равномерно окрасится въ красный цвѣтъ. Слѣдовательно, вопреки дѣйствию тяжести, легчайшія частицы опустились внизъ, а ихъ мѣсто заняли болѣе тяжелыя. Диффузія можетъ произойти между двумя жидкостями различной плотности и въ томъ случаѣ, если они раздѣлены плотною оболочкою, напр. изъ растительнаго пергамента или коллодіума, веществъ весьма сходныхъ съ растительною клѣтчаткою. Предположимъ, что въ пузырь изъ подобнаго вещества налить растворъ какой нибудь соли и все погружено въ внѣшній цилиндръ, содержащій растворъ соли иной плотности. Жидкости эти, раздѣленные перепонкою начнутъ переходить черезъ нее и смѣшиваться между собою и все это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ пока въ пузырь не

будетъ въ единицу времени выходить столько же частицъ, сколько ихъ будетъ выходить, т. е. пока плотности растворовъ солей, раздѣленныхъ перепонкою не сравняются. Кѣточки мочекъ корней, кѣточки листьевъ представляютъ намъ довольно близкое подобіе описаннаго прибора. Оболочка кѣточекъ состоитъ изъ кѣтчатки. Черезъ эту оболочку проникають благодаря диффузіи изъ почвы растворы веществъ, необходимыхъ для жизни растенія. Разумѣется, если бы содержимое кѣточекъ состояло изъ веществъ, столь же легко диффундирующихъ, какъ и проникающіе изъ почвы растворы, то, какъ и въ вышеприведенномъ примѣрѣ скоро бы наступило равновѣсіе между обмѣномъ веществъ и цѣлы питанія не была бы достигнута. Но извѣстно, однако, что существуютъ тѣла двоякаго рода: одни способны легко диффундировать черезъ перепонки, подобныя оболочкамъ кѣточекъ, другія же—неспособны. Тѣла первой категоріи называются кристаллоидами,—второй—коллоидами.

ГЛАВНѢЙШІЯ:

Растительныя вещества.	Ихъ источники.
Кѣтчатка.	Углекислота.
Крахмалъ.	Вода.
Бѣлковыя вещества.	Соли.
Масла.	
Тѣла нерастворимыя и коллоиды.	Газы и кристаллоиды.

Въ таблицѣ первой приведены главнѣйшія вещества, содержащіяся въ кѣточкѣ, въ таблицѣ второй ихъ источники. Мы усматриваемъ, что внутри кѣточекъ главнымъ образомъ содержатся или вещества коллоидальныя, т. е. трудно проходящія черезъ перепонки (бѣлковыя вещества масла, камеди) или же тѣла совершенно нерастворимыя (крахмалъ, кѣтчатка), тогда какъ въ теченіе всей своей жизни кѣточки окружены веществами очень легко диффундирующими. Листья — углекислотою, корни — растворомъ солей, т. е. кристаллоидовъ. Попавъ въ кѣточку благодаря диффузіи, газы и растворы кристаллоидовъ, благодаря творческой работѣ, совершающейся внутри кѣточки, превращаются въ вещества коллоидальныя, а это превращеніе вызываетъ поступленіе новыхъ и новыхъ количествъ питательныхъ веществъ изъ почвы и воздуха. На основаніи вышесказаннаго не трудно объяснить и такъ наз. избирательную способность корней. Доказано, напр., что изъ различныхъ веществъ содержащихся въ почвѣ, растенію необходимы: вода, калий, кальцій, магній, сѣра, фосфоръ, желѣзо и кремній.

(Для нѣкоторыхъ растений, особенно живущихъ въ моряхъ, также натрій, іодъ и хлоръ). Невольно возникаетъ вопросъ, почему изъ разнородныхъ веществъ, содержащихся въ почвѣ, они притягиваютъ именно тѣ, которыя нужны растенію. Вообразимъ, что наша клѣточка погружена въ растворъ, содержащій хлористый натрій и селитру. Изъ этихъ солей нужна для растенія селитра. Обѣ соли легко диффундируютъ черезъ оболочки клѣточекъ и, слѣдовательно, попадаютъ въ клѣтку. Но здѣсь ихъ ожидаетъ различная участь. Селитра въ клѣткѣ разложится и ея азотъ послужитъ для образованія бѣлковыхъ веществъ — коллоидовъ, вслѣдствіе этого въ клѣтку будутъ проникать все новыя и новыя количества селитры. Но иное дѣло съ поваренною солью. Она не разлагается, сокъ въ клѣткѣ ею насыщается, а затѣмъ можетъ наступить и обратная диффузія раствора NaCl въ почвенную воду. Мочки корней могутъ вбирать въ себѣ и вещества нерастворимыя въ водѣ. Это объясняется тѣмъ, что корни выделяютъ свободную кислоту (кажется, уксусную), растворяющую эти соединенія. Кромѣ того корни, какъ и проростающія сѣмена „дышатъ“, выделяютъ углекислоту. А извѣстно, что вода содержащая CO_2 способна растворять углекислую известь, фосфорнокальціевую соль, въ чистой водѣ нерастворимыя. Впитанные корнями растворы питательныхъ веществъ поднимаются по трохеямъ и одревѣнѣвшимъ сосудамъ, расположеннымъ въ древесинѣ (въ заболони) и достигаютъ листьевъ, пройдя иногда въ вышину путь свыше 300 футовъ. Какая сила заставляетъ жидкость подниматься на подобную высоту. Вѣроятное всего корневое давление, основанное на явленіи „осмоса“, къ которому на помощь приходитъ испаряющее дѣйствіе листьевъ. Дойдя до листьевъ, большая часть воды уходитъ черезъ извѣстные намъ устья въ атмосферу. Количество воды, испаряемое листьями огромно. Одна десятая напр. смѣшанной луговой травы испаряетъ за лѣто до 500.000 пуд. воды. Листья испаряютъ воду, вслѣдствіе чего въ ихъ клѣточкахъ образуются болѣе концентрированные растворы заключающихся въ нихъ веществъ. Эти растворы на основаніи законовъ диффузіи притягиваютъ новыя количества воды изъ смѣжныхъ клѣточекъ и т. д. Корни играютъ роль нагнетающаго насоса, листья — разрѣжающаго. Дѣйствительно можно убѣдиться, что въ проводящихъ воду сосудахъ воздухъ разрѣженъ. Также можно путемъ опыта (монотреть съ ртутью) измѣрить непосредственное корневое давление. Опытъ показалъ, что это давление можетъ доходить до тридцати шести футовъ водяного столба. Восходящій токъ жидкости на пути къ листьямъ отдаетъ необходимыя для питанія растенія минеральныя соли, азотъ и сѣру. Кромѣ того такимъ же путемъ доставляется и вода, слѣдовательно водородъ и кислородъ. Остается еще углеродъ — эта основа всякаго органическаго вещества. Этотъ углеродъ растенія получаютъ изъ углекислоты, всегда содержащейся, хотя и въ незначительныхъ количествахъ въ атмосферѣ. Углекислота эта легко диффундируетъ черезъ оболочки клѣточекъ листьевъ. Проникнувъ въ листья

углекислота вступаетъ въ реакцію съ водою, доставляемой изъ почвы восходящимъ токомъ, причемъ съ одной стороны образуется кислородъ, уходящій въ атмосферу, а съ другой углеводъ—крахмалъ $6\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + 6\text{O}_2$. Для того чтобы эта реакція имѣла мѣсто, необходимо одновременное дѣйствіе солнечнаго свѣта и зеленыхъ хлорофилловыхъ зеренъ. Въ микроскопической клѣточкѣ листа происходитъ непрерывно одна изъ сокровеннѣйшихъ тайнъ природы: претвореніе простыхъ соединений (CO_2 и H_2O) въ сложное органическое—крахмалъ. Въ листѣ, или, вѣрнѣе, въ хлорофилловаго зерна, въ природѣ не существуетъ лабораторіи, гдѣ бы вырабатывались органическія соединения, т. е. всѣ органическія вещества нашей планеты, прошли черезъ листъ. Прослѣдимъ дальнѣйшую судьбу образовавшагося крахмала. Онъ нерастворимъ въ водѣ. Для возможности выхода его изъ клѣточекъ предполагаютъ, что онъ превращается въ сахаръ растворъ, который странствуя изъ клѣточки въ клѣточку достигаетъ отдаленнѣйшихъ частей растенія. Этотъ нисходящій токъ жидкости (пластическій или образовательный сокъ) спускается по живымъ клѣточкамъ вторичной коры (ближайшей къ камбію), проникаетъ въ растущую клѣточку, въ которой сахаръ вновь превращается сначала въ крахмалъ, а затѣмъ послѣдній въ клѣчатку—этотъ твердый остовъ растенія. Вотъ схематическое изображеніе процесса питанія растенія. Разумѣется на самомъ дѣлѣ онъ гораздо сложнѣе, и многія его стороны остаются для насъ еще не ясными. Напр. гдѣ образуются бѣлки и жиры мы не знаемъ. Вѣроятно, что сложныя бѣлковые вещества образуются изъ того же сахара пластического сока и амміака. Извѣстно также что бѣлки и жиры могутъ образоваться и въ отсутствіе свѣта и хлорофила.

Продолжительность жизни различныхъ деревьевъ чрезвычайно разнообразна, ибо она зависитъ отъ многихъ условій. Чѣмъ благоприятнѣе условіе жизни, тѣмъ дольше растетъ дерево, но вообщее продолжительность жизни дерева несравненно болѣе человѣческой. Даже въ нашемъ суровомъ климатѣ деревья растутъ по 100 — 300 лѣтъ и болѣе. Въ Ковенской губ. былъ срубленъ дубъ, на которомъ насчитали 750 годичныхъ слоевъ. Возлѣ Константинополя есть чинаръ, которому около 4000 лѣтъ.

Перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію главнѣйшихъ видовъ деревьевъ, наиболѣе часто примѣняемыхъ для стройки въ Россіи. Ихъ можно раздѣлить на двѣ группы: хвойныя деревья, имѣющія листы въ видѣ иглъ, не опадающихъ на зиму и лиственные деревья, имѣющія листы въ видѣ мягкихъ пластинъ съ черешкомъ, которыя опадаютъ на зиму и вновь вырастаютъ весною изъ почекъ. (Исключеніе составляетъ лишь лиственница, каждую осень сбрасывающая свою мягкую хвою).

Хвойныя деревья.

Большинство нашихъ русскихъ лѣсовъ состоятъ изъ хвойныхъ деревьевъ. Русскій лѣсъ, по преимуществу,—лѣсъ красный.

Сосна. Изъ различныхъ хвойныхъ деревьевъ наиболѣе важное значеніе для строительнаго дѣла имѣетъ сосна, — вслѣдствіе ея прочности, ровнаго и высокаго ствола и широкаго распространенія въ средней и сѣверной полосахъ Россіи. Самые роскошные сосновые лѣса растутъ въ Архангелъской, Вологодской, Вятской и Пермской губерніяхъ. На крайнемъ сѣверѣ сосна вырождается изъ высокоствольнаго, стройнаго дерева въ низкорослый кустарникъ. Древесина сѣверной сосны цѣнится выше южной, ибо плотнѣе и смолистѣе послѣдней. Древесина сосны состоитъ изъ трохеидъ и незначительнаго количества древесной паренхимы. Если распилить поперекъ сосновое бревно, то, по прошествіи нѣкотораго времени, на распилѣ ясно выдѣлится болѣе темная, внутренняя древесина—ядро и болѣе свѣтлая наружная заболонь. Ядровая древесина плотнѣе и прочнѣе (т. е. долѣе сохраняется, не загнивая), чѣмъ заболонь. Для благоприятнаго роста сосны особенно пригодна глубокая, рыхлая песчаная почва. Такая сосна называется рудовой, кондовой и имѣетъ древесину очень мелкослойную, плотную, смолистую, желто-краснаго цвѣта. Значительно ниже по достоинству сосна, выросшая на мѣстахъ низменныхъ, сырыхъ. Такая сосна называется мяндовой и имѣетъ древесину крупнослойную, не столь крѣпкую и прочную, какъ рудовая. У мяндовой сосны заболонь бываетъ обыкновенно шире чѣмъ у рудовой, что также говорить не въ пользу первой, ибо заболонь легче ядра загниваетъ.

Примѣненіе сосны. Въ строительномъ дѣлѣ сосна идетъ въ видѣ балоковъ, бревенъ, досокъ, драницъ на устройство домовъ; представляетъ прекрасный матеріалъ также для постройки судовъ. Незамѣнима, какъ дерево, дающее превосходныя мачты для кораблей: сосна высока, упруга и не очень тяжела. Въ огромныхъ размѣрахъ сосна служитъ также для изготовленія шпалъ. При благоприятныхъ условіяхъ сосна можетъ доживать до глубокой старости. На сѣверо-востокѣ Россіи нерѣдки отдѣльныя сосны старѣе 350 лѣтъ.

Ель во многомъ сходна съ сосною; примѣненіе ея въ строительной практикѣ также значительно, хотя и не такъ велико, какъ сосны, ибо въ качествахъ еловая древесина, нѣсколько уступаетъ сосновой древесинѣ. Еловая древесина менѣе плотна, и значительно менѣе смолиста, а потому и скорѣе загниваетъ нежели древесина сосновая. Затѣмъ въ еловой древесинѣ отсутствуетъ ядро и она на всей площади разрѣза представляется одноцвѣтной: желтовато-бѣлою. Тѣмъ не менѣе ель у насъ употребляется весьма часто, какъ на строевой, такъ и на пильный лѣсъ. Продолжительность жизни ели также очень велика и можетъ достигать 300 лѣтъ и даже болѣе. Ель также какъ и сосна свойственна умѣренному и холодному климату. На сѣверѣ она заходитъ даже за полярный кругъ; на югѣ же распространена гораздо менѣе, чѣмъ сосна. Ель лучше и прямѣе колется, чѣмъ сосна.

Лиственница (*Larix sibirica*, *Larix europaea*). Лиственница сибирская и европейская мало отличаются другъ отъ друга, а поэтому мы будемъ говорить о лиственницѣ вообще. Растетъ лиственница преимущественно въ холодномъ климатѣ, главнымъ образомъ въ Сибири; встрѣчается также на сѣверо-востокѣ Европейской Россіи. Въ западной Европѣ эта порода произрастаетъ въ естественномъ состояніи лишь на высокихъ альпійскихъ горахъ, въ Тиролѣ, Швейцаріи и др. на высотѣ между 2500 и 7000 фут. Лучше всего растетъ лиственница на рыхлой, свѣжей, каменистой почвѣ, вдоль рѣчныхъ долинъ. Она, особенно въ первые годы жизни, подобно соснѣ, и въ противоположность ели, не выносить затѣненія и выказываетъ сильную потребность въ свѣтѣ. Стволъ у лиственницы также какъ и у сосны и ели, стройный, прямой, колоннообразный. Это особенно относится къ сибирской лиственницѣ; европейская склонна къ искривленію. Стволъ достигаетъ въ вышину 18 сажень и болѣе. Лиственница достигаетъ глубокой старости—иногда свыше 500 лѣтъ. Древесина лиственницы превышаетъ по качествамъ древесину даже сѣверной рудовой сосны. Древесина мелкослойна, красновато-бураго цвѣта, весьма плотная и обильно пропитанная смолою. Последнее обстоятельство дѣлаетъ ее чрезвычайно прочною, какъ на воздухѣ, такъ и подъ водою. Червь ее не точитъ. Любопытно, что подъ водою она не только не портится, но даже со временемъ пріобрѣтаетъ большую твердость, превышающую твердость дуба. Есть примѣры, указывающія, что надземныя постройки изъ лиственницы простоявали около шести вѣковъ, а подводныя сваи около 1700 лѣтъ. Проф. Кайгородовъ приводитъ слѣдующій примѣръ. Въ 1858 году при необычайно низкомъ уровнѣ Дуная, обнаружили изъ-подъ воды, близъ такъ называемыхъ желѣзныхъ воротъ, сваи бывшаго Троянова моста, построеннаго римлянами 1700 лѣтъ тому назадъ. Сваи эти были изъ лиственницы и дуба, и не только не показывали ни малѣйшихъ признаковъ порчи, но были даже такъ тверды, что объ нихъ крошились токарные инструменты. Древесина лиственницы, также какъ сосны и ели, состоитъ изъ трохеидъ и очень небольшого количества древесной паренхимы. (У хорошей лиственницы слой заболони очень узокъ и рѣзко отличается отъ красновато-бураго ядра своимъ болѣе свѣтлымъ цвѣтомъ. Чѣмъ древесина лиственницы мелкослойнѣе, темнѣе и смолистѣе тѣмъ она выше цѣнится. Надо однако оговориться, что подобную древесину даетъ лишь лиственница, выросшая либо на крайнемъ сѣверѣ (сибирская), либо на высокихъ горахъ (альпійская). Лиственница выросшая въ тепломъ климатѣ имѣетъ древесину болѣе рыхлую. Вслѣдствіе своихъ прекрасныхъ качествъ, лиственница могла бы имѣть разнообразное примѣненіе въ строительномъ дѣлѣ; особенно цѣнно ея примѣненіе для кораблестроенія и подводныхъ работъ. Вслѣдствіе незначительнаго числа сучьевъ и прямизмы ствола, изъ послѣдняго выпиливаютъ отличныя доски, не коробящіяся и не трескающіяся. Лиственничныя доски представляютъ

вслѣдствіе этихъ качествъ желанный матеріалъ для различныхъ плотничныхъ и столярныхъ работъ: для устройства оконныхъ рамъ, для приготовленія гонта; на желѣзнодорожныя шпалы и т. п. Несмотря на высокія техническія качества примѣненіе лиственницы въ строительномъ дѣлѣ у насъ еще довольно ограничено. Это съ одной стороны зависитъ отъ отдаленности мѣстъ произростапія лиственницы отъ болѣе культурныхъ частей Россіи, а съ другой стороны и отъ того обстоятельства, что до 1858 года въ Россіи закономъ запрещалось отпускать лиственницу въ продажу на частное употребленіе, дабы сохранить ее для цѣлей казеннаго кораблестроенія. Нѣтъ сомнѣнія, однако, что съ проведеніемъ Сибирской магистрали, примѣненіе лиственницъ должно у насъ значительно развиться.

Сибирскій кедръ (*Pinus sibirica*). Родина кедра — Сибирь; подобно лиственницѣ онъ исключительно произрастаетъ въ холодномъ климатѣ. Въ Европейской Россіи кедровыя рощи встрѣчаются въ прилегающихъ къ Уральскому хребту уѣздахъ Пермской и Вологодской губерніяхъ. Въ западной Европѣ растетъ на высокихъ Альпійскихъ горахъ. Кедръ любитъ почву сырую и глубокую, въ которой влага не исчезаетъ. Продолжительность жизни кедра около 700 лѣтъ. Однако встрѣчаются и экземпляры, которымъ насчитывается болѣе 1000 лѣтъ. Ядро древесины взрослога кедра — свѣтло-бурое, окруженное тонкимъ кольцомъ свѣтло-желтой заболони. Древесина кедра очень красива, тонкослойна и прочна; въ то же время и мягка, поэтому легко обрабатывается ножомъ и столярнымъ инструментомъ. Стволъ кедра, подобно прочимъ хвойнымъ деревьямъ, прямой и правильный; иногда достигаетъ въ высоту болѣе 20 саж. при $2\frac{1}{2}$ арш. толщины. Несмотря на столь существенныя достоинства кедровой древесины — она мало примѣняется въ строительномъ дѣлѣ. Причина этому явленію та же, что и для лиственницы. Кедръ растетъ или въ глухихъ мѣстахъ далекаго сѣвера, или же на высокихъ горахъ.

Пихта. Различаютъ пихту сибирскую (*Abies sibirica*) и европейскую или польскую, гребенчатую (*Abies pectinata*). Родина нашей пихты, какъ и кедра и лиственницы — Сибирь. Въ Европейской Россіи она встрѣчается на Уралѣ и въ сѣверовосточныхъ губерніяхъ (Пермской, Вятской и др. *Abies pectinata* растетъ въ лѣсахъ западной Европы, а также въ Привислянскихъ губерніяхъ. Пихта, особенно въ молодомъ возрастѣ, весьма сходна съ елью. Также и древесины обоихъ деревьевъ представляютъ большое сходство: не имѣетъ ядра, легко раскалывается, мягка, желтовато-бѣлаго цвѣта. Пихтовая древесина почти не содержитъ смоляныхъ ходовъ, поэтому въ прочности она значительно уступаетъ древесины другихъ хвойныхъ породъ. Вообще техническія достоинства пихтовой древесины ниже даже еловой. Это обстоятельство въ связи съ малою доступностью пихтовыхъ лѣсовъ — объ-

ясняютъ весьма ограниченное примѣненіе пихты для строительныхъ цѣлей.

Лиственныя деревья.

(Деревья чернолѣся).

Дубъ (*Quercus*). Ботаники различаютъ два вида дуба, растущаго въ лѣсахъ Европейской Россіи: лѣтній дубъ и зимній дубъ. Въ техническомъ отношеніи оба эти вида весьма мало различаются, а потому мы будемъ говорить о древесинѣ дуба вообще. Лѣтній дубъ встрѣчается повсемѣстно въ Россіи къ югу отъ 60° с. широты, зимній же почти исключительно въ западномъ краѣ, къ западу отъ Днѣпра. Кромѣ западнаго края прекрасныя дубовыя лѣса встрѣчаются также въ приволжскихъ губерніяхъ (Казанской и Сибирской). Почву дубъ требуетъ глубокую (корни его сильно углубляются), свѣжую. Средняя продолжительность жизни дуба 500—600 лѣтъ. Въ зависимости отъ мѣста и густоты окружающаго лѣса стволъ дуба бываетъ либо прямой и высокій (дубъ выросшій въ густомъ лѣсу) иногда до 20 и болѣе саж., либо низкій въ 2—3 сажени сучковатый, сильно разросшійся въ толщину.

Техническія качества вполне соответствуютъ прекрасному и величественному наружному виду дуба—этого царя лѣсовъ. Дубовая древесина плотна, прочна, упруга и весьма красива. Имѣетъ рѣзко обозначенное ядро — свѣтло-бураго цвѣта и заболонь — грязновато-бѣлую. Древесина дуба сохраняется хорошо не только на воздухѣ и подъ водою, но и при перемежающихся смачиваніи и высушиваніи (во всякомъ случаѣ значительно лучше сосны). Подъ водою чернѣетъ и приобретаетъ необыкновенную твердость. Черная окраска дуба, пролежавшаго подъ водою, зависитъ отъ соединенія имѣющейся въ значительномъ количествѣ въ дубовой древесинѣ дубильной кислоты съ растворимыми въ водѣ солями желѣза. Образуется дубильнокислое желѣзо (черныя чернила). Такъ называемый „черный или мареный дубъ“, изъ котораго готовится весьма цѣнная мебель, есть ни что иное какъ обыкновенный дубъ, долгое время пролежавшій подъ водою. Благодаря своимъ прекраснымъ техническимъ свойствамъ дубъ имѣетъ весьма широкое примѣненіе. Его употребляютъ при устройствѣ мостовъ на наиболѣе отвѣтственные части — подушки и т. п., подверженныя значительнымъ ударамъ, для подводныхъ и подземныхъ работъ, на паркетныя работы, на мебель, колесныя ободья и т. п. Значительное примѣненіе имѣетъ дубъ въ кораблестроеніи, для постройки корабельнаго корпуса; затѣмъ для приготовленія такъ наз. „клѣпки“—дошечки, изъ которой дѣлаются бочки. Кора дуба считается въ кожевенномъ дѣлѣ однимъ изъ лучшихъ

дубильныхъ матеріаловъ; даже дубовые желуди, какъ извѣстно, находятъ себѣ примѣненіе для питанія животныхъ.

Вязъ (Ильмъ, Илимъ, *Ulmus*). По техническимъ свойствамъ сходенъ съ дубомъ, но менѣе употребителенъ. Древесина ильма крѣпка, упруга, чрезвычайно вязка, хорошо противостоитъ удару и давленію, хорошо полируется. Ядро—шоколаднаго цвѣта, заболонь широкая, желтовато бѣлая. Примѣняется въ значительныхъ размѣрахъ въ машиностроительномъ, столярномъ и экипажномъ дѣлѣ (вязовыя дуги и оглобли).

Грабъ (бѣлый букъ). Древесина очень жесткая, тяжелая, вязкая, труднорасколимая, бѣлаго цвѣта. Ядра нѣтъ. Примѣненіе: на мелкіе подѣлки, требующія значительной твердости, напр. на клинья, колодки инструментовъ, на зубья зубчатыхъ колесъ, винты, вообще на разныя части сельско-хозяйственныхъ и иныхъ машинъ. Въ Петербургѣ древесина бѣлаго бука продается на вѣсъ, фунтами. Характерный отличительный признакъ для древесины граба составляютъ годичныя кольца, которыя являются въ видѣ волнистыхъ линій, а не въ видѣ болѣе или менѣе правильныхъ круговъ, какъ у большинства другихъ древесныхъ породъ. Къ недостаткамъ грабовой древесины относится ея малая прочность. На открытомъ воздухѣ она легко загниваетъ.

Букъ (сѣрый букъ). Древесина красновато сѣрая съ многочисленными и широкими сердцевинными лучами, болѣе темными, чѣмъ остальная масса (характерное отличіе буковой древесины). Вслѣдствіе красоты и легкой обдѣлки находитъ примѣненіе въ экипажномъ и столярномъ дѣлѣ („вѣнская“ гнутая мебель). Но вообще примѣненіе бука у насъ ограничено, вслѣдствіе незначительнаго распространенія буковыхъ лѣсовъ. Букъ растетъ у насъ только въ лѣсахъ Бессарабіи, Крыма и Кавказа; также въ юго-западныхъ губерніяхъ Царства Польскаго. Въ Западной Европѣ букъ гораздо болѣе распространенъ.

Рябина. Древесина съ красно-бурымъ ядромъ и красновато-бѣлою заболонью, хорошо рѣжется и полируется: блестяща, очень вязка и довольно тверда. Цѣнится столярами; идетъ на рѣзбу винтовъ и на рукоятки молотовъ и т. п. инструментовъ.

Береза есть растеніе, свойственное умѣренному и холодному климату. На сѣверѣ береза заходитъ до 62° сѣв. широты; южная граница распространенія березы получится, если соединить линією Царицынъ, Каменецъ-Подольскъ и Славяносербскъ. Въ сѣверной и средней полосѣ Россіи береза—одно изъ распространеннѣйшихъ деревьевъ. Продолжительность жизни около 100 лѣтъ. Древесина безъ ядра, однородная, бѣлаго цвѣта, легкая, вязкая, довольно крѣпкая, но мало прочная, особенности въ сырости и легко коробится. Вслѣдствіе этого береза употребляется на постройки сравнительно рѣдко; лишь за недостаткомъ хвойнаго лѣса. Чѣмъ бѣлѣе березовая древесина, тѣмъ она лучше.

Иногда внутренняя часть древесины окрашена въ шоколадный цвѣтъ (ложное ядро). Это дурной признакъ, указывающій на начало загниванія. Стволъ у березы, въ противоположность большей части остальныхъ нашихъ лиственныхъ породъ, часто прямой, ровный и высокій. Главное примѣненіе береза имѣетъ въ домашнемъ быту для изготовленія саней, тѣлегъ, земледѣльческихъ орудій и пр. Кора березы или „береста“ играетъ въ строительномъ дѣлѣ роль изолирующаго матеріала (напр. идетъ для обвертыванія концовъ балокъ) вслѣдствіе того, что не пропускаетъ сырости и не гніетъ. Зависитъ это отъ содержанія берестою значительнаго количества березовой смолы.

Особый видъ березы — карельская (встрѣчаемый въ лѣсахъ Финляндіи и сѣверной Россіи) имѣетъ красивую древесину съ черными жилками, разсѣянными между волнообразно изгибающимися древесными волокнами. Она идетъ въ столярномъ и токарномъ дѣлѣ для изготовленія разныхъ мелкихъ подѣлокъ (шкатулокъ, ящичковъ и т. п.). Древесина карельской березы значительно тяжелѣе обыкновенной и, вслѣдствіе неправильнаго расположенія волоконъ, почти не раскалывается, она поэтому является удобнымъ матеріаломъ для выточки напр. шаровъ.

Липа. Древесина липы рыхлая, мягкая, мало прочная, вслѣдствіе чего липа рѣдко употребляется на постройки. Охотно строятся нашими крестьянами липовыя бани ради „легкаго пара“. Кора липы имѣетъ гораздо большее значеніе чѣмъ древесина. Изъ внутренняго слоя коры изготовляютъ лубъ и мочало. Также весьма цѣнятся липовый уголь. „Лыко“, изъ котораго наши крестьяне плетутъ себѣ лапти есть кора молоденькихъ липокъ (отъ 3—10 лѣтъ).

Осина. Древесина мягкая, желтовато-бѣлая, рыхлая. Въ сухомъ мѣстѣ довольно прочна, но въ сыромъ скоро загниваетъ. Ядро отсутствуетъ. Тамъ гдѣ мало хвойнаго лѣса осина часто употребляется на постройки (напр. въ Тамбовской и Пензенской губ.). Но главное примѣненіе имѣетъ осина для изготовленія, такъ называемаго, „щепнаго товара“ (блюда, ковши, миски, чашки, корыта, лопаты и пр.) благодаря тому, что хорошо рѣжется ножомъ, чисто и легко обтачивается на токарномъ станкѣ, наконецъ мало коробится и трескается.

Ольха. Древесина ольхи, красноватаго цвѣта, легка, ломка, сильно коробится; на открытомъ воздухѣ быстро портится, а потому на постройки идетъ весьма рѣдко. Но подъ водой и въ постоянно сырой землѣ ольха весьма прочна, а потому иногда употребляется для устройства колодезныхъ срубовъ, водопроводныхъ трубъ и другихъ подводныхъ сооружений. Вслѣдствіе легкой обработки столярными инструментами часто употребляется въ столярномъ дѣлѣ.

Ясень. Древесина свѣтло-желтаго цвѣта, съ шелковистымъ блескомъ на продольномъ разрѣзѣ. Крѣпка, вязка и упруга, но мало

прочна на открытомъ воздухѣ, а потому не употребляется на постройки. Довольно обширное примѣненіе имѣетъ въ столярномъ и экипажномъ дѣлѣ.

Кленъ. Древесина желтовато-бѣлая, тонкаго сложенія, очень красива въ расколѣ, тяжела, тверда, мало коробится и трескается, отлично принимаетъ политуру и легко обрабатывается различными инструментами. Примѣняется главнымъ образомъ въ токарномъ, столярномъ и каретномъ дѣлѣ. На постройки не употребляется вслѣдствіе дороговизны и малой прочности на воздухѣ.

Ива и тополь для построекъ не примѣняется. Упомянемъ лишь, что ива благодаря свойству быстро укореняться употребляется иногда для укрѣпленія откосовъ.

Кромѣ перечисленныхъ породъ отечественныхъ деревьевъ, для декоративной отдѣлки помѣщеній и мебели употребляются и нѣкоторыя сорта привозныхъ деревьевъ: красное дерево (не коробится), бакаутъ (очень твердое и тяжелое), полисандръ, черное дерево и т. д.

Техническія свойства дерева.

Важнѣйшія въ строительномъ смыслѣ свойства дерева суть слѣдующія: *влажность, удѣльный вѣсъ, твердость, крѣпость* (сопротивленіе различнымъ механическимъ усиліямъ) *кожкость, гибкость и прочность*. Тѣ или другія свойства дерева бываютъ различны не только у деревьевъ различныхъ породъ, и у различныхъ деревьевъ одной и той же породы, но и у одного и того же дерева въ разныхъ его частяхъ, что обуславливается неодинаковыми климатическими условіями, разнообразными почвами, разностью возраста и назначеніе различныхъ частей дерева. Поэтому и на цифры, иллюстрирующія вышеназванные свойства, слѣдуетъ смотрѣть, какъ на болѣе или менѣе приблизительныя.

Влажность дерева. Свойства дерева находятся въ тѣсной зависимости отъ количества содержащихся въ немъ соковъ, а такъ какъ послѣднія представляютъ собою водный растворъ различныхъ органическихъ и минеральныхъ веществъ, то слѣдовательно и отъ процентнаго отношенія вѣса содержащейся воды къ общему вѣсу дерева, т. е. отъ его влажности. Количество влаги неодинаково въ различныхъ частяхъ одного и того же дерева. Корни болѣе влажныя части, наименѣе—часть ствола, ближайшая къ сердцевинѣ. Также количество соковъ въ растущемъ деревѣ бываетъ далеко не одинаково въ разное время года. Долгое время полагали, что деревья нашего климата наименѣе сочны зимою и болѣе весною, но этотъ взглядъ опровергается данными опытовъ Hartig'a, приведенными въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Опыты были произведены надъ 30 различными породами лѣса 16 л. возраста.

	Декабрь. Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.	Іюль.	Сентябрь.	Ноябрь.
Твердыхъ лиственныхъ породъ: дубъ, красный букъ, ильмъ	41%	38	36	36	39	35	39	38	34
Мягкихъ лиственныхъ породъ: липа, вязъ, каштанъ	53	53	48	47	47	47	50	47	45
Хвойныя	60	58	59	54	60	61	60	58	54
Въ среднемъ	51,3	49,6	47,6	46,3	48,6	47,6	49,6	47,6	44,3

Изъ этой таблицы видно, что наибольшая влажность у породъ лиственныхъ приходится на мѣсяцъ январь и февраль, а у породъ хвойныхъ—январь.

Въ среднемъ можно принять, что въ растущемъ деревѣ около 50% влаги; содержаніе же влаги въ свѣже срубленномъ деревѣ выражается слѣдующими цифрами:

Дубъ	24,0 вѣс. %	Осина	43,7 вѣс. %
Береза	30,8 „	Ильмъ	44,5 „
Ель	37,1 „	Пихта	45,2 „
Сосна	37,7 „	Тополь	51,0 „
Красный букъ	39,7 „	Ива	60,0 „
Липа	41,1 „		

Свѣже срубленное дерево на воздухѣ постепенно теряетъ свою влагу: усыхаетъ, но лишь до извѣстнаго предѣла. Опыты Шевандье показали, что наибольшую потерю влаги обнаруживаетъ дерево послѣ 18 мѣсяцевъ лежанія на открытомъ воздухѣ. При дальнѣйшемъ лежаніи на воздухѣ дерево вновь начинаетъ притягивать влагу изъ атмосферы. Дерево высушенное на вольномъ воздухѣ называется воздушно-сухимъ или полусухимъ. Такое дерево содержитъ еще 20 — 15% воды. До 8—10% возможно понизить влагу, употребляя для сушки сухой воздухъ при 20° С.; дальнѣйшее же испареніе воды достигается лишь въ искусственныхъ сушильняхъ.

Быстрота просыханія дерева зависитъ отъ многихъ условій: 1) отъ величины испаряющей поверхности: доски сохнутъ быстрѣ бревень; дерево въ корѣ высыхаетъ медленнѣ дерева со снятою корою; 2) отъ состоянія погоды: вѣтеръ при жарѣ сильно ускоряетъ сушку; 3) отъ рода и строенія древесины; рыхлая древесина просыхаетъ скорѣ, чѣмъ плотная; заболонь быстрѣ спѣлой древесины. Высушенное дерево способно на воздухѣ вновь впитать въ себѣ влагу. Искусственно-высушенное дерево въ теченіе сутокъ поглощаетъ изъ воздуха до 20% влаги. Будучи погружено въ воду, при долгомъ лежаніи, дерево можетъ вдвое увеличиться въ вѣсѣ.

Удѣльный вѣсъ дерева. Собственно древесина безъ поръ, содержащихъ воздухъ тяжелѣ воды. Удѣльный вѣсъ собственно древесины 1,1—1,9. Если же дерево не тонетъ въ водѣ, то благодаря присутствію воздуха въ порахъ, понижающаго ея у. в. Свѣже срубленная древесина тяжелѣ сухой, какъ показываютъ цифры слѣдующей таблицы.

УДѢЛЬНЫЙ ВѢСЪ ДЕРЕВЬЕВЪ

	Свѣжесрубленныхъ.	Высушенныхъ на воздухѣ.
Дубъ	1,07	0,78
Ель	0,735	0,48
Сосна	0,73	0,57
Липа	0,73	0,46
Тополь	0,86	0,53
Бѣлый букъ	1,0	0,72

Удѣльный вѣсъ дерева находится въ зависимости отъ ширины клѣточекъ и сосудовъ и отъ толщины стѣнокъ ихъ оболочекъ. Съ удѣльнымъ вѣсомъ связаны, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, нѣкоторыя важнѣйшія техническія свойства дерева, какъ-то: крѣпость, твердость, прочность. Изъ хвойныхъ породъ большимъ удѣльнымъ вѣсомъ обладаютъ породы съ узкими годовыми кольцами, напр. сѣверная сосна плотнѣ южной. Наоборотъ для лиственныхъ породъ широкіе годовые слои и кольцеобразно расположенныя поры даютъ указанія на большую плотность. Удѣльный вѣсъ находится также въ зависимости отъ климатическихъ и почвенныхъ условій. Сосна, выросшая на свѣжей песчаной почвѣ рудовая будетъ тяжелѣ мендовой, т. е. выросшей на почвѣ сырой и глинистой. Южная сосна легче сѣверной. Старыя деревья тяжелѣ молодыхъ и т. п.

Крѣпость дерева или сопротивляемость его механическимъ усиліямъ. Различаютъ сопротивляемость растяженію, сжатію, изгибу, скалыванію, крученію и др. При сужденіяхъ о прочности дерева не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что связь между волокнами гораздо слабѣ самихъ волоконъ. На сопротивленіе дерева оказываютъ вліяніе многія обстоятельства: 1) строеніе древесины; 2) условіе роста (питаніе,

почва, на которой дерево произрастает); 3) время рубки; 4) степень влажности и 5) удельный вѣсъ и др. При высушиваніи дерева сопротивление его растетъ. Хвойныя деревья срубленные зимою на 20% прочнѣе срубленныхъ лѣтомъ (Баушингеръ). Хорошее питаніе и подходящая почва увеличиваетъ крѣпость древесины. Сердцевинныя части слабѣе периферическихъ; плотная древесина представляетъ большее сопротивление, нежели древесина легкая и рыхлая *). Такъ какъ сопротивляемость дерева находится въ зависимости отъ % содержанія влаги, то при производствѣ опытовъ, для полученія результатовъ между собою сравнимыхъ, необходимо принимать это обстоятельство во вниманіе. Баушингеръ предлагаетъ за норму принимать содержаніе воды въ 15% (дерево воздушной сушки).

Коэффициентъ упругости E для ели, сосны, дуба и бука можно принять $=120.000$; предѣлъ упругости T_e (при растяженіи) $=270$; T_e (при сжатіи) $=120$. Наибольшее упругое удлинение $\frac{T_e}{E}$ для дуба $=0,004$;

для сосны $=0,002$. Величина $\frac{T_e}{E}$ характеризуетъ пригодность матеріала для изготовленія пружинъ и рессоръ. Въ этомъ отношеніи дерево занимаетъ среди другихъ строительныхъ матеріаловъ одно изъ первыхъ мѣстъ. Такъ напр. наибольшее упругое удлиненіе рессорной стали около 0,002.

Методы опредѣленія сопротивленій дерева. Такъ какъ въ постройкахъ дерево почти исключительно сопротивляется или сжатію или изгибу, то обыкновенно и испытываютъ его сопротивление для этихъ двухъ случаевъ. Для опредѣленія сопротивления дерева растяженію разрываютъ на специальныхъ приборахъ (напр. при помощи машины Вердера) на круглые или плоскіе образцы дерева (фиг. 256 и 257), помѣщая ихъ въ захваты машины. Образцы для испытанія на сжатіе имѣютъ обыкновенно видъ квадратныхъ призмъ сѣченія 8×8 или 10×10 сантим., и 15—20 сантим. высоты. Ихъ раздавливаютъ при помощи гидравлическихъ или иныхъ прессовъ. Для испытанія на изгибъ располагаютъ балку на двухъ опорахъ, нагружаютъ ее посрединѣ и, постепенно увеличивая нагрузку, доводятъ до разрушенія. Для испытанія на крученіе одинъ конецъ бруска, обточенного на токарномъ станкѣ, укрѣпляютъ неподвижно, а къ другому прикладываютъ пару силъ.

Сопротивленіе растяженію. Такъ какъ отдѣльныя волокна значительно крѣпче связи между ними и такъ какъ сопротивление иногда еще болѣе ослабляется „сердцевинными лучами“, то различаютъ: 1) сопротивление разрыву вдоль волоконъ, 2) сопротивление по направленію сердцевинныхъ лучей (радіальное) и 3) сопротивление по направленію касательной къ сердцевиннымъ лучамъ (тангентальное). Сопротивленіе

*) Медленно выросшее дерево крѣпче интенсивной культуры.

дерева разрыву вдоль волоконъ, значительно выше сопротивлений его поперекъ волоконъ и по направленію сердцевинныхъ лучей. Принимая сопротивление вдоль волоконъ = 1, получаемъ по Nördlinger'y — сопротивление радиальное = 0,1 и тангентальное = 0,09. Такъ какъ на сопротивление дерева вліяетъ очень много факторовъ (удѣльный вѣсъ, строение древесины, время рубки, порода дерева, климатическія условія, степень влажности и др.) то понятно, что и цифры, выражающія результаты опытовъ въ данномъ направленіи, должны быть весьма разнообразны. Для расчетовъ можно принять временное сопротивление растяженію $T_r = 800$ клгр. на кв. сант. для ели; 900 клгр. для сосны и 1000 — для бука и дуба. Коэффициентъ прочности *) принимаютъ приблизительно = 10. Поэтому прочное сопротивление для названныхъ породъ выразится слѣдующими цифрами:

	Ель.	Сосна.	Дубъ.	Букъ.
Прочное сопротивление T въ клгр. на кв. сант.	60	100	100	100

Сопротивленіе дерева сжатію. Сопротивленіе дерева сжатію вдоль волоконъ. Многочисленные опыты доказали, что сопротивление дерева сжатію почти въ два раза меньше сопротивление его растяженію. Международныя конференціи по испытанію матеріаловъ указали, что пробы на сжатіе и на изгибъ могутъ служить мѣрою крѣпости и рабочей способности дерева. Bauschinger произвелъ многочисленные изысканія надъ опредѣленіемъ зависимости сопротивления сжатію отъ степени влажности и удѣльнаго вѣса.

Опыты эти доказали, что сопротивление сжатію возрастаетъ пропорціонально удѣльному вѣсу дерева и тѣмъ болѣе, чѣмъ дерево суже. Зависимость между сопротивленіемъ сжатію β и удѣльнымъ вѣсомъ для хвойныхъ деревьевъ со склоновъ Вогезъ Bauschinger выразилъ слѣдующей формулой $\beta = [1000 \times \delta - 100]$ клгр. на кв. сант. Затѣмъ оказалось (что справедливо также и для сопротивления растяженію), что сопротивление зависитъ не отъ абсолютной ширины годичнаго слоя, а отъ относительной ширины весенней и осенней части годичнаго слоя.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТИЮ.

Породы.	Временное сопротивление сжатію T_r	Прочное сопротивление сжатію T .
Ель	400	50
Сосна	450	60
Дубъ	500	80
Букъ	500	80

Сопротивленіе дерева смятію, т. е. сжатію перпендикулярному къ волокнамъ.—Этотъ вопросъ имѣетъ серьезное значеніе при испыта-

*) T . е. отношеніе величины разрушающей нагрузки къ безопасному грузу.

ніяхъ породъ лѣса, предназначенныхъ на желѣзнодорожныя шпалы. Вотъ нѣкоторые результаты большого числа опытовъ произведенныхъ лабораторіей Института Инженеровъ Путей Сообщенія, съ цѣлю выясненія вопроса относительно сопротивленія шпалъ смятію *).

	a	b
Сосновая шпала	500—318 клгр. на кв. сант. **)	
Дубовая шпала (изъ Бельгін)	400— 80 " " " "	
Буковая шпала (сѣверъ Франціи)	122—124 " " " "	
Еловая шпала	24—314 " " " "	

Таблица, содержащая результаты опытовъ проф. Н. А. Бѣлелюбскаго. Среднія цыфры, выражающія сопротивленіе растяженію и раздробленію вдоль и поперекъ волоконъ.

	Сосна.	Ель.	Дубъ.	Береза.	Кедръ.
Сопротивленіе растяженію	384	311	454	442	217
Сопротивленіе раздробленію парал. волок.	194	163	222	226	117
Начало смят. перп. волок.	25	—	70	55	—
Начало раздр. " "	70	—	100	80	22

Сопротивленіе дерева скалыванію. Какъ извѣстно, скалываніе дерева есть срѣзываніе его силами параллельными волокнамъ. Въ слѣдующей таблицѣ приведены результаты опытовъ Журавскаго надъ сопротивленіемъ разрыву, сжатію и скалыванію дуба и сосны.

	СОПРОТИВЛЕНІЕ.		
	Разрыву.	Раздробленію.	Срѣзыванію.
	Клгр. на кв. сантиметръ.		
Слабая сосна	400	200	50
Дубъ и крѣпкая сосна	800	400	75

*) а—кубки вырѣзанные изъ заболони.

b— " " " " сердцевинны.

**) Усиліе дѣйствовало \perp къ волокнамъ.

Цифры эти указываютъ, что дерево сопротивляется очень слабо скалыванію, что и слѣдовало ожидать въ виду слабой связи между отдѣльными волокнами дерева. Во всѣхъ употребительныхъ деревянныхъ соединеніяхъ дѣйствуютъ силы, стремящіяся произвести скалываніе, вслѣдствіе этого проекты деревянныхъ сооружений слѣдуетъ составлять такъ, чтобы части ихъ подвергались сжатію, но не растяженію. Дѣйствительно, чтобы произвести растягивающіе усиліе, необходимо приходится имѣть дѣло съ врубками, а слѣдовательно и съ сопротивленіемъ скалыванію, тогда какъ сжимающія усилія могутъ быть приложены къ дереву безъ врубокъ (Кирпичевъ). Опыты, произведенные Tetmajer'омъ и Bauschinger'омъ показали, что сопротивление скалыванію, а также сопротивление сжатію и растяженію, находится въ зависимости отъ удѣльнаго вѣса. Кромѣ того сопротивление дерева зимней рубки болѣе сопротивленія дерева рубки лѣтней.

Сопротивленіе дерева изгибу. вмѣстѣ съ сопротивленіемъ дерева сжатію, сопротивление изгибу даетъ, какъ было уже замѣчено, достаточный матеріалъ для сужденія о крѣпости дерева вообще. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторые результаты опытовъ Tetmajer'a надъ изгибомъ деревянныхъ балокъ.

Порода дерева.	Коэффи- циентъ упру- гости.	Предѣлъ упругости.	Временное сопротивле- ніе.	Влажность въ %.
	Килгр. на кв. сантиметръ			
Сосна	85.650	188	409	20,9%
Ель	89.340	210	435	15,9%
Дубъ	99.410	216	601	26,2%
Лиственница	105.570	208	542	17,8%
Букъ	132.900	253	720	—

По опытамъ Bauschinger'a коэффициентъ упругости и предѣлъ упругости при изгибѣ возрастаютъ съ увеличеніемъ у, в. сухой древесины. Влажность же уменьшаетъ коэффициентъ упругости и временное сопротивленіе.

Гибкость. Гибкостью называются способность дерева сгибаться до извѣстнаго предѣла не ломаясь и сохраняя пріобрѣтенную форму. Степень гибкости находится въ тѣсной зависимости отъ содержанія влаги. Свѣже срубленные деревья, также молодого возраста и пропитанные водою обладаютъ наибольшею гибкостью. Высушиваніе какъ естественное на воздухѣ, такъ и искусственное понижаетъ степень гибкости. Всѣмъ извѣстно, что напр. вымачиваніе и распариваніе уве

личиваетъ эту способность, а поэтому къ нимъ часто прибѣгаютъ, какъ въ технику, такъ и въ общегитіи при изготовленіи обручей, косяковъ, ободьевъ колесъ и т. п. Если принять гибкость дуба за 100, то гибкость другихъ породъ выразится слѣдующими цифрами:

Дубъ.	Букъ.	Ель.	Сосна.
100	95	75	70

Колкость—есть способность дерева расщепляться вдоль волоконъ. Сучковатость уменьшаетъ колкость; сырая древесина колется легче сухой. Замораживаніе уменьшаетъ колкость. Хвойныя деревья вообще колются легче лиственныхъ. Наконецъ сопротивленіе раскалыванію меньше (въ 1 — 3 раза) по направленію сердцевинныхъ лучей, чѣмъ по касательнымъ къ годичнымъ слоямъ.

Твердость дерева служитъ для опредѣленія степени его изнашивания и относительной пригодности для токарной, столярной и плотничной обработки. Твердость дерева находится въ зависимости отъ его удѣльнаго вѣса (болѣе или менѣ пропорціонально послѣднему), также отъ степени его влажности. Ядро обыкновенно тверже заболони; осеннія части годичныхъ колецъ тверже весеннихъ. По уменьшающейся твердости деревья располагаются такъ: бакаутъ, клень, красный букъ, ильмъ, дубъ, сосна, ель, береза, тополь, ива, липа и т. д.

Прочность дерева. Изъ нѣсколькихъ срубленныхъ (мертвыхъ) деревьевъ то будетъ прочнѣе, которое способно больше сохраняться на воздухѣ или подъ водой не разрушаясь, слѣдовательно не утрачивая своихъ важнѣйшихъ въ техническомъ смыслѣ свойствъ. Прочность дерева находится въ зависимости отъ слѣдующихъ причинъ.

Отъ структуры древесины. Наибольшею прочностью обладаютъ породы съ ядромъ, особенно въ среднемъ возрастѣ (подъ старость ядро легко загниваетъ) съ сильно развитою осеннею частью годичнаго слоя. Плотная, тяжелая древесина лучше противостоитъ разрушающему дѣйствію атмосферныхъ дѣятелей, нежели древесина легкая и рыхлая. Наиболѣе прочною считается часть древесины между заболонью и сердцевиною. Значительное содержаніе смолы, узкіе слои и мелкія поры хвойныхъ породъ гарантируютъ ихъ прочность. Также увеличиваетъ прочность дерева содержаніе жирныхъ летучихъ маселъ.

Отъ качествъ растительныхъ соковъ. Растительные сока оказываютъ огромное вліяніе на прочность дерева. Какъ мы увидимъ впоследствии, толчекъ къ разложенію древесины даютъ различные микроорганизмы, попадающіе изъ атмосферы. Наилучшимъ питательнымъ матеріаломъ для этихъ микроорганизмовъ служатъ органическія (особенно) бѣлковыя вещества, содержащіяся въ сокѣ. Спѣлая древесина, какъ содержащая менѣ соковъ труднѣе загниваетъ чѣмъ заболонь.

Отъ условій роста. Дерево, выросшее на просторѣ, при обильномъ солнечномъ свѣтѣ, даетъ древесину болѣе прочную, чѣмъ дерево вырос-

шее въ густомъ насажденіи. Жирная и сырая почва оказываетъ вообще вредное вліяніе на прочность древесины. Мы знаемъ, что особенно прочною оказывается такъ. наз. кандовая сосна, выросшая на глубокой и сухой песчаниковой почвѣ.

Отъ удѣльнаго вѣса. Изъ двухъ деревьевъ одной и той же породы—болѣе тяжелое въ то же время и болѣе прочное. Но при сравненіи древесины разныхъ породъ, оказывается, что удѣльный ея вѣсъ не находится въ связи съ прочностью. Такъ напр. болѣе легкія хвойныя породы прочнѣе породъ тяжелыхъ (напр. бука, березы, клена и др.).

Отъ времени рубки. До сихъ поръ еще не установилось согласіе относительно того, какое дерево прочнѣе: зимней или лѣтней рубки, хотя съ незапамятныхъ временъ у различныхъ народовъ сложилось убѣжденіе, что дерево зимней рубки прочнѣе срубленного весною и лѣтомъ. У нѣмцевъ на этотъ счетъ сложилась даже слѣдующая поговорка:

Wer sein Holz in der Christ nacht fällt,
Dem sein Gebäude zehnfach fällt;
Denn Fabian, Sebastian
Da fängt der Saft schon gehenäü.

Повѣрье это не лишено однако вѣроятности. Дѣйствительно, зимою, хотя деревья и содержатъ сравнительно больше соковъ, но послѣдніе состоятъ почти изъ одной чистой воды. Весною же и лѣтомъ, когда жизнедѣятельность деревьевъ проявляется наиболѣе интенсивно, соки содержатъ бѣлковыя и другія вещества, весьма склонныя къ загниванію.

Отъ среды, въ которой примѣняется или сохраняется дерево. Въ сырой или умеренно влажной песчаной или глинистой почвѣ дерево сохраняется долго; въ сухой песчаниковой—короткое время; въ известковой—весьма не долго. Особенно вредно дѣйствуетъ не прочность дерева поперемянное высыханіе и смачиваніе грунта. Подъ водою же (если только вода чистая и проточная) дерево сохраняется хорошо. Особенно значительную прочность при храненіи подъ водой обнаруживаютъ бѣлый букъ, дубъ, вязъ, сосна. Это явленіе объясняется 1) выщелачиваніемъ водою легко загниваемыхъ бѣлковыхъ веществъ; 2) устраненіе доступа воздуха съ его зародышами микроорганизмовъ и 3) постепеннымъ уплотненіемъ дерева отъ давленія воды.

Въ сухомъ помѣщеніи дерево сохраняется долго. Въ сыромъ, неотапливаемомъ, съ плохую вентиляціею, т. е. съ малымъ притокомъ свѣжаго воздуха, дерево быстро разрушается въ теченіе какихъ нибудь 4 — 5 лѣтъ. На открытомъ воздухѣ, при періодическомъ смачиваніи дождемъ и высушиваніи солнечною теплотою дерево также портится очень быстро. Это объясняется тѣмъ, что при этихъ условіяхъ древесина дѣлается болѣе рыхлою, образуются многочисленныя трещины—обстоятельства способствующія, разумѣется, проникновенію различныхъ возбудителей гниенія. Ниже приводится таблица Mothes'a, въ которой

приведена прочность различныхъ древесныхъ породъ при различныхъ условіяхъ храненія.

Названіе породъ.	Подъ водою.	Чередующее смачиваніе и высуханіе.		Въ посто- янно сухомъ помѣщеніи.
		На воздухъ.	При отсут- ствіи воздуха.	
Кленъ	20	10	5	1000
Береза	10	5	3	500
Букъ бѣлый	750	80	130	1000
„ красный	10	20	5	800
Дубъ	700	120	200	1800
Ольха	800	5	2	400
Ясень	10	20	3	500
Пихта	60	45	20	900
Сосна	500	80	120	1000
Тополь	10	3	1	500
Ель	70	50	25	900
Вязъ	1000	100	180	1500
Ива	20	5	4	600

По этой таблицѣ наиболѣе прочными оказываются дубъ, вязъ (ильмъ) и сосна; средней прочности: букъ, ольха, ясень и ель, и мало прочными: береза, тополь и ива.

Пороки дерева.

Къ порокамъ дерева относятся различныя уродливости и неправильности въ его строеніи, которыя иногда бросаются въ глаза при поверхностномъ осмотрѣ, но чаще скрытыя наружныя и внутреннія поврежденія, происходящія или отъ ненормальныхъ условій развитія или отъ поврежденія механическими усиліями, также насѣкомыми.

Къ порокамъ дерева относятся:

Трещины. *Сердцевинныя трещины* (изобр. на ф. 258). Онѣ происходятъ отъ усыханія части древесины, ближайшей къ сердцевинѣ и идутъ по радіусамъ отъ сердцевины, постепенно утоняясь къ окружности. Сердцевинная трещина, идущая вдоль всего ствола называется „метикомъ“ (ф. 259). Эти трещины на растущемъ деревѣ не замѣтны и усматриваются лишь по снятіи коры. Нерѣдко едва замѣтная на первый взглядъ трещина съ теченіемъ времени увеличивается. Трещины вредны ибо онѣ 1) уменьшаютъ количество полезной древесины и 2) облегчаютъ доступъ въ дерево различнымъ паразитамъ и микроорганизмамъ. Сердцевинныя трещины порокъ очень распространенный и къ браковкѣ деревьевъ съ подобными пороками слѣдуетъ относиться осторожно. Напримѣръ, если бревно предназначено къ распиловкѣ на доски и если направленіе трещинъ совпадаетъ съ направленіемъ распиловки, то разумѣется подобныя деревья браковать не приходится. Другое дѣло, если напр. метикъ не лежитъ въ одной плоскости, но спирально извивается. Подобное дерево не пригодно въ строительномъ дѣлѣ.

Вѣтрянныя или *вѣтрянки*—также сердцевинныя трещины, но болѣе мелкія и встрѣчающіяся въ болѣемъ количествѣ. Часто эти трещины бываютъ наполнены рыхлой, трутообразной массой. Предполагаютъ, что они происходятъ вслѣдствіе частаго раскачиванія дерева при уже существующей дряблости послѣдняго.

Морозовины (зяблины, морозобой). Эти трещины (ф. 260) также идутъ по радіусамъ, но начинаются не отъ сердцевины, но отъ коры, постепенно сужаясь и сходя къ сердцевинѣ на нѣтъ. Причиною ихъ служатъ сильные морозы, чередующіеся съ внезапною оттепелью. Эти трещины иногда узнаются по разрывамъ коры; у лиственныхъ же породъ часто по валику, образуемому у мѣста трещинъ. Часто морозовины затягиваются слѣдующими годовичными слоями и тогда ихъ трудно замѣтить.

Облупы или *отлупы* (ф. 261) суть трещины между отдѣльными годовичными кольцами и образуются вѣроятно вслѣдствіе неравномѣрнаго развитія двухъ сосѣднихъ слоевъ. При всякихъ трещинахъ возможность примѣненія дерева къ дѣлу зависитъ отъ величины поврежденія и отъ того, находится ли уже древесина въ состояніи гниlostнаго процесса или нѣтъ.

Неправильности въ расположеніи волоконъ дерева. *Свилеватость.* Если сдѣлать въ деревѣ съ подобнымъ порокомъ продольный разрѣзъ, то усмотримъ, что волокна расположены не по прямой линіи, но волнообразно. При распиловкѣ подобнаго дерева на балки или доски неизбѣжно перерѣзываются волокна, что въ свою очередь ведетъ къ пониженію крѣпости дерева. Свилеватое дерево очень трудно раскалывается поэтому предпочитается для изготовленія ручекъ инструментовъ. Также цѣнятся для нѣкоторыхъ токарныхъ и столярныхъ работъ свилеватое дерево (напр. корельская береза, дикій каштанъ, иногда дубъ)

за красоту узора древесины. Для частей же сооружений, подверженных изгибающим усилиям, балки и доски из свилеватого дерева, разумѣется, не пригодны.

Косослой. При косослоѣ волокна располагаются въ видѣ спирали около продольной оси ствола. Это весьма часто встрѣчающійся порокъ. Въ нѣкоторыхъ лѣсахъ большая часть деревьевъ страдаетъ этимъ порокомъ. Косослойность можно узнать по спиральному расположенію трещинъ. То что было сказано относительно вліянія свилеватости на крѣпость дерева, относится и къ косослойности. Дерево съ подобнымъ порокомъ рациональнѣе примѣнять въ цѣломъ видѣ, а не распиливать. Причина свилеватости и косослойности еще не выяснена.

Остины суть свилеватыя мѣста, занимающія небольшое мѣсто, напр. у сучка.

Ройки суть углубленія въ нижней части ствола, у корня.

Ненормальности въ развитіи нѣкоторыхъ частей ствола.

Двойная заболонь. Порокъ этотъ состоитъ въ томъ, что кромѣ нормальной заболони стволъ имѣетъ еще и вторую, ложную, происшедшую оттого, что нѣсколько слоевъ спѣлой древесины, ближайшихъ къ сердцевинѣ по мягкости и рыхлости напоминаютъ заболонь. Подобныя деревья не слѣдуетъ употреблять въ строительномъ дѣлѣ. Изъ нихъ иногда возможно выпилить доски, избѣгая при этомъ захватывать часть древесины съ ложною заболонью. Причина образованія двойной заболони лежитъ вѣроятно въ неудовлетворительномъ временномъ питаніи дерева или въ временныхъ же неблагоприятныхъ климатическихъ условіяхъ

Пояса — отдѣльныя годовичныя кольца или части ихъ, отличающіяся отъ сосѣднихъ физическими свойствами, напр. цвѣтомъ, плотностью и друг.

Сучковатость. Сучки показываютъ присутствіе бывшихъ вѣтвей. Вредъ отъ сучковатости зависитъ отъ размѣровъ и числа сучковъ: мелкіе сучки безвредны, крупныя же и въ большемъ числѣ помимо того, что уменьшаютъ сопротивленіе изгибу, затрудняютъ еще и обработку. *) Вслѣдствіе этого при приѣмкѣ лѣсного матеріала полезно заранѣе условиться относительно допускаемаго числа сучковъ, ихъ размѣровъ и взаимнаго расположенія. Роговыми сучками называются сломянные и заросшіе въ древесинѣ ствола сучья. Вслѣдствіе усушки они часто выпадаютъ; рѣже лишь трескаются. Выпаденіе сучьевъ, которые оставались живыми до свалки дерева, невозможно, ибо каждый годовичный слой подобнаго сучка находится въ связи съ соотвѣтствующимъ годовичнымъ слоемъ ствола. Сучки легко загниваютъ. Различаютъ нѣсколько видовъ гнили: крапивный сучекъ — губчатая масса бурого

(*) Сучки обыкновенно тверже окружающей ихъ древесины.

цвѣта съ бѣлыми крапинками; табачный сучокъ (бурая масса, разсыпающаяся при высыханіи въ порошок); ивовый сучокъ (упругая масса). Крапивный сучокъ наиболѣе опасенъ, ибо зараза отъ него легко передается всему дереву. Рекомендуется вырѣзывать сучки изъ дерева и въ образовавшуюся дыру загонять деревянную пробку.

Различнаго рода пораненія дерева. Къ порокамъ дерева относятся также различнаго рода пораненія. Слѣдуетъ различать самопроизвольно возникающія раны отъ ранъ и поврежденій обусловленныхъ внѣшними механическими усиліями, напр. ударами топора, отламываніемъ вѣтвей, ударами отъ паденія сосѣдняго дерева и т. п. Эти раны, при которыхъ обнажаются внутреннія живыя ткани растений и которыя могутъ вызвать гніеніе древесины, принадлежать къ разряду патологическихъ. Многочисленныя же самовольно возникающія при жизни растенія пораненія (напр. при произвольномъ опаденіи отдѣльных вѣточекъ, листьевъ, коры и т. д.) безвредны, ибо въ тотъ моментъ, когда образуется рана, готово уже, заранѣе выработанное растеніемъ средство для ея заживленія. Но и раны, причиненныя внѣшними механическими усиліями успѣшно заживляются растеніями безъ замѣтнаго вліянія на ходъ роста, если только онѣ не слишкомъ велики. Во всякомъ случаѣ пораненія—явленіе непріятное и нежелательное, ибо оно и въ случаѣ заживленія понижаетъ общую сопротивляемость дерева механическимъ усиліямъ, (въ мѣстахъ зажившихся слои древесины слабо связаны другъ съ другомъ) и кромѣ того въ обнаженной ранѣ легко можетъ задержаться сырость и попасть изъ атмосфернаго воздуха возбудители гниlostнаго процесса. Если рана произошла у дерева хвойной породы, то тотчасъ же начинается усиленное выдѣленіе смолы (засмоль, скрянка), защищающей дерево отъ неблагоприятныхъ внѣшнихъ условій. У листовенныхъ деревьевъ въ этомъ случаѣ съ одной стороны въ сосудахъ возникаютъ особыя, „выполняющія“ клѣтки, которыя ихъ закупориваютъ, такъ что проникновеніе воды извнѣ въ сосуды совершаться не можетъ, а съ другой стороны вблизи раны образуется большое количество камеди, покрывающей, какъ пластырь обнаженную рану. Вотъ предварительная помощь, которую оказываетъ растеніе своему пораненному мѣсту. Вслѣдъ за этимъ тотчасъ-же начинается процессъ „заживленія“. При этомъ процессѣ различаютъ два случая. Если камбіальный слой не поврежденъ и не высохъ, то покрытіе раны происходитъ исключительно отъ этой ткани. Камбіальный слой выдѣляетъ клѣтки т. н. рубцовой ткани. При непрерывномъ дѣленіи этихъ клѣтокъ черезъ нѣсколько дней образуется затягивающій рану слой. Эта рубцовая ткань, окрашивающаяся подъ вліяніемъ свѣта въ зеленый цвѣтъ, скоро дифференцируется; внутрь отъ нея отлагаются элементы древесины, тогда какъ наружу—элементы луба. Другое дѣло, если камбій на обнаженной древесинѣ ствола засохъ прежде, чѣмъ онъ успѣлъ образовать „рубцовую“ ткань. Въ этомъ случаѣ воз-

становляющій процессъ идетъ „наплывомъ“ отъ краевъ раны. На краяхъ раны усиленно отлагаются новые слои древесины такимъ образомъ, что края раны постепенно сближаются и по окончательномъ ихъ сближеніи начинается отложеніе уже сплошныхъ слоевъ древесины. Иногда эти наплывы принимаютъ огромные размѣры, и, благодаря красотѣ рисунка слоевъ, такая древесина имѣетъ извѣстную цѣнность въ столярномъ дѣлѣ.

Поврежденіе дерева животными паразитами. Многочисленные виды перепончато-крылыхъ и бабочекъ, ихъ гусеницы и личинки, затѣмъ различные жуки являются опасными врагами дерева, поѣдая его листья, устраивая въ древесинѣ жилища и питаясь при этомъ важнѣйшими жизненными элементами растенія. Эти враги нападаютъ какъ на растущее дерево, такъ и на дерево срубленное. Для насъ представляютъ особый интересъ тѣ паразиты, которыя уничтожаютъ древесину уже срубленного дерева. Въ строительной Technikѣ дерево находитъ примѣненіе какъ на поверхности земли, такъ и подъ водою. Къ наиболѣе опаснымъ паразитамъ, нападающимъ на дерево на воздухѣ, относится жукъ-точильщикъ (*Anobium*). Жукъ этотъ кладетъ въ деревѣ свои яйца; образовавшаяся личина затѣмъ пробуравливаетъ въ древесинѣ многочисленные каналы (червоточины), ослабляющія сопротивленіе дерева механическимъ усиліямъ, а иногда и совершенно его разрушающія. *) Наиболѣе опасными водяными врагами дерева являются моллюски: свайный червь или шашень (*Teredo navalis*) и бурильная раковина (*Pholas*). Шашень не выноситъ холодовъ, а потому встрѣчается лишь въ южныхъ моряхъ, у насъ въ Черномъ морѣ, гдѣ приноситъ огромный вредъ портовымъ сооруженіямъ, быстро разрушая деревянные сваи. Свайный червь напоминаетъ собою обыкновеннаго дождевого червя, но голова его покрыта твердою раковиною, которою онъ и производитъ свою разрушительную работу. Длина его около 25 см., толщина 1—1,5 см. Точить этотъ червь дерево по направленію волоконъ и, отличаясь необыкновенною плодовитостью, продѣлываетъ сравнительно въ короткій срокъ въ деревѣ миллионы ходовъ, выложенныхъ извѣстью. На ф. 262 представленъ разрѣзъ древесины, пораженной этимъ паразитомъ. **) Фолады сверлятъ дерево перпендикулярно направленію волоконъ при помощи твердой раковины, въ которой они

*) Въ Закаспійскомъ краѣ огромный вредъ желѣзнодорожнымъ шпаламъ и телеграфнымъ столбамъ причиняютъ „термиты“—особый видъ бѣлыхъ муравьевъ.

**) Замѣчательно въ порчѣ шашнемъ дерева то, что ходы, продѣланные разными червями никогда не перекрещиваются; отдѣльныя особи по какому-то инстинкту минуютъ другъ друга, какъ бы онѣ ни были близки.

заклучены. Для борьбы съ названными паразитами наилучшимъ средствомъ является пропитываніе дерева консервирующими составами (напр. креозотомъ), о чемъ рѣчь будетъ позже.

Вліяніе влажности и мѣры противъ нея.

Къ числу важныхъ недостатковъ дерева относятся также легкая видоизмѣняемость формы различныхъ деревянныхъ издѣлій подѣ вліяніемъ влажности.

Какъ мы уже видѣли, содержаніе влажности въ свѣже срубленномъ деревѣ можетъ доходить до 50% и болѣе его вѣса. При лежаніи на воздухѣ, дерево постепенно теряетъ свою влажность до 20—25% (воздушное сухое дерево). Измѣненіе во влажности дерева отражается на его объемѣ. При уменьшеніи влажности объемъ дерева уменьшается, оно „усыхаетъ“. Это явленіе не являлось бы вреднымъ, если бы волокна древесины при этомъ сжимались бы равномерно по всемъ направленіямъ. Но дѣло въ томъ, что при усыханіи волокна сжимаются всего менѣе въ длину, нѣсколько болѣе по радіусамъ и всего болѣе по окружности годовичныхъ колецъ. Въ среднемъ можно принять, что при переходѣ дерева изъ состоянія непосредственно послѣ сушки къ состоянію полусухому укороченіе волоконъ въ длину около 0,1%, по направленію сердцевинныхъ лучей (радіальное) около 5% и по окружности слоя 8—10%. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены величины усушки (въ %) различныхъ породъ деревьевъ.

Названіе дерева.	Величина усушки въ процентахъ.		
	Вдоль волоконъ.	По радіусу.	По окружности.
Ель	0,08—0,12	2,4—2,9	6,7—6,2
Сосна	0,12	3,0	5,7
Дубъ	0,13	3,1	7,8
Ильмъ	0,12	2,9	6,7
Грабъ	0,4	6,7	10,9
Букъ	0,20	5,0	8,1

Кромѣ того наружные слои древесины сохнутъ быстрѣ внутреннихъ, сжимаютъ послѣднія и могутъ при этомъ разорваться. Указанныя явленія обуславливаютъ появленіе трещинъ и особой деформациі срубленной древесины, извѣстной подъ названіемъ „коробленія“. Бревно безъ коры растрескивается быстрѣ дерева съ корою, ибо внѣшній заболонный слой при отсутствіи коры быстро и сильно усыхаетъ. Еще легче растрескиваются брусья, т. е. бревна, обтесанные съ четырехъ сторонъ. При этомъ расположеніе трещинъ зависитъ отъ положенія сердцевины въ фигурѣ поперечнаго сѣченія бруса (см. ф. 263—267). Наконецъ, если сырое бревно распилено на доски, то трещины появляются въ средней доскѣ, содержащей сердцевину ствола въ прочихъ же доскахъ обнаруживается коробленіе, при чемъ отдѣльныя доски обращаются выпуклостью къ центру ствола. Чѣмъ доска дальше отъ сердцевины, тѣмъ интензивнѣе обнаруживается коробленіе, зависящее отъ укороченія годичныхъ слоевъ (см. ф. 268). Высушенное дерево при лежаніи на воздухѣ вновь притягиваетъ влагу, увеличиваясь при этомъ въ объемѣ. Эта деформациа дерева носитъ названіе „разбуханія“. Также какъ и усыханіе, разбуханіе идетъ неравномѣрно по различнымъ направленіямъ и въ разныхъ частяхъ дерева (вдоль волоконъ разбуханіе наименьшее, а по окружности слоевъ—наибольшее), а потому и при этомъ явленіи имѣетъ мѣсто „коробленіе“ дерева, происходящее, однако, въ направленіи обратномъ коробленію отъ усушки.

Разсмотримъ теперь, какія мѣры возможно принять для предупрежденія появленія трещинъ и коробленія, а также для уменьшенія вреда отъ этихъ явленій.

Мѣры противъ появленія трещинъ и коробленія. Какъ намъ уже извѣстно, трещины и коробленіе дерева обуславливаются измѣненіемъ въ немъ содержанія влажности, поэтому избѣгнуть эти недостатки возможно, придавъ дереву заранѣе ту степень сухости, которая будетъ окружать его впослѣдствіи. О способахъ сушки дерева будетъ сказано выше, теперь же замѣчу, что такъ какъ появленіе трещинъ обуславливается еще и скоростью испаренія, то сушка вообще должна вестись постепенно, что особенно относится къ древеснымъ матеріаламъ, идущимъ на столярныя подѣлки. Такъ напр., нѣкоторые сорта досокъ высушиваютъ вполнѣ лишь по прошествіи нѣсколькихъ лѣтъ. Средствомъ, предупреждающимъ деформацию уже высушеннаго дерева, является закрытіе его поръ, т. е. покрытіе дерева слоємъ какого-либо вещества, предохраняющаго его отъ проникновенія или выдѣленія влаги. Съ этою цѣлью дерево смолятъ, покрываютъ масляною краскою и лакомъ. Существуетъ еще цѣлый рядъ мѣръ, служащихъ если не для полнаго устраненія разсматриваемыхъ недостатковъ, то для ихъ парализованія въ большей или меньшей степени. Для примѣра мы разсмотримъ нѣсколько изъ нихъ, наиболѣе характерныхъ. 1) Намъ уже извѣстно, что возможно угадать направленіе прогиба бруска при его просыханіи. Если брусокъ долженъ нести грузъ, то его кладутъ сверху

той стороною, которая по усушкѣ должна сдѣлаться выпуклою. Силы, коробящія брусья и тяжесть нагрузки взаимно уравниваются. 2) Положимъ, что полъ насланъ изъ не вполне высушеннаго лѣса. Если доски прибиты къ полу двумя гвоздями (ф. 269), то неизбежно появятся трещины при усыханіи, если однимъ гвоздемъ, посрединѣ доски, то послѣднія покособятся и между ними образуются щели. (ф. 270). Чтобы избѣгнуть подобныхъ послѣдствій просушки, не слѣдуетъ прибавлять доски къ половымъ балкамъ до ихъ высыханія, но лишь сколотить вмѣстѣ и образующійся затѣмъ прозоръ задѣлать рейкою. Чтобы уменьшить коробленіе не прибитыхъ досокъ, концы загоняють въ пазы особой обвязочной доски или же доски соединяють между собою помощью шиповъ и т. п. При составленіи цѣлыхъ щитовъ изъ досокъ путемъ склеиванія, соотвѣтственнымъ выборомъ направленія волоконъ и расположенія сердцевины, въ значительной степени уменьшаютъ могущее имѣть мѣсто формоизмѣненіе. Этого достигаютъ напр. располагая выпуклости годичныхъ слоевъ въ разныя стороны (ф. 271) или разрѣзая доски пополамъ и располагая отдѣльныя половинки въ разныя стороны (ф. 272). Если бы выпуклость годичныхъ слоевъ досокъ была бы направлена въ одну сторону, то всѣ доски также покособились бы въ одну сторону и получилась бы значительная деформація. Наконецъ вполне возможно устранить коробленіе, если склеить деревянный щитъ изъ нѣсколькихъ рядовъ тонкихъ досокъ, положенныхъ другъ на друга такимъ образомъ, чтобы волокна одного ряда шли накрестъ волокнамъ другого (ф. 273).

Методы сушки дерева. Различають сушку на корнѣ и сушку срубленнаго и раздѣленнаго на брусья, доски и т. п. дерева.

Сушка на корнѣ. Весною снимають съ дерева часть коры и оставляють до слѣдующей зимы на корнѣ, когда его и срубають. Приѣмъ основанъ на прекращеніи притока древесныхъ соковъ, тогда какъ ихъ выдѣленіе непрерывно происходитъ черезъ листья. Чаше срубають дерево, обнажаютъ часть коры и, не трогая вѣтвей съ листьями, оставляють на лѣто лежать.

Сушка сортового лѣса. Различають сушку на воздухѣ и сушку искусственную.

Сушка на воздухѣ состоитъ въ продолжительномъ храненіи лѣса въ штабеляхъ, защищенныхъ лишь навѣсомъ отъ атмосферныхъ осадковъ. Иногда для этой цѣли устраиваются спеціальныя сараи съ приспособленіями для регулированія движенія воздуха т. е. скорости сушки. При складываніи бревенъ въ штабели необходимо принимать мѣры, дабы бревна между собою не соприкасались. Съ этою цѣлью ихъ перекладываютъ поперечными досками. Такъ какъ испареніе влаги черезъ торцы идетъ быстрѣе другихъ частей бревна, то торцы иногда обмазываютъ глиною, оклеивають бумагою и т. п.

Искусственная сушка состоитъ въ дѣйствіи на дерево нагрѣтаго искусственнымъ образомъ воздуха или непосредственно продуктовъ го-

рѣнія топлива. Въ этомъ случаѣ устраиваются особыя сушильни-камеры, въ которыхъ высушиваемый лѣсъ либо складывается на нарахъ или въ штабеля, либо ввозится на тѣлѣжкахъ по рельсамъ, уложеннымъ на днѣ камеры. На фиг. 274 изображена сушильная камера, въ которой лѣсъ сложенный въ штабеля нагревается непосредственно продуктомъ горѣнія топлива, сжигаемого въ топливникѣ D, устроенномъ въ концѣ продолговатаго корридора A. Способъ этотъ весьма экономиченъ, ибо горячіе газы непосредственно дѣйствуютъ на лѣсъ; затѣмъ нѣтъ надобности въ устройствѣ искусственной вентиляціи, ибо пары воды вмѣстѣ съ продуктами горѣнія удаляются по борovu въ дымовую трубу. Но способъ этотъ не безопасенъ въ пожарномъ отношеніи, ибо вмѣстѣ съ дымомъ могутъ залетать въ камеру и искры. Болѣе безопасенъ, но менѣе экономиченъ способъ, при которомъ испареніе влаги происходитъ нагрѣтымъ воздухомъ. Для этой цѣли на полу или въ стѣнахъ камеры устраиваются дымоходы, черезъ стѣнки которыхъ теплота продуктовъ горѣнія передается воздуху камеры или же проводятъ паръ черезъ систему металлическихъ трубъ, расположенныхъ подъ рѣшетчатымъ дномъ камеры. Температура въ подобныхъ сушильняхъ обыкновенно не выше 40° С. Непремѣннымъ условіемъ правильной сушки является какъ постепенное поднятіе, такъ и пониженіе температуры. Продолжительность сушки зависитъ какъ отъ размѣровъ лѣса, такъ и отъ его назначенія (бревна сушатся въ теченіе 15—20 дней, доски 2—3 сутокъ). Наконецъ мелкій, подѣлочный лѣсъ обыкновенно сушится въ самыхъ столярныхъ мастерскихъ съ какою цѣлью въ нихъ подъ потолкомъ устраиваютъ нары, на которыхъ и кладется высушиваемый лѣсъ. Нѣкоторые сорта подѣлочнаго лѣса сушатся по десяти и болѣе лѣтъ.

Болѣзни дерева.

Подъ болѣзнью дерева подразумѣвается разложеніе, разрушеніе его составныхъ частей вслѣдствіе протекающихъ химическихъ реакцій.

Подобныя разрушенія извѣстны подъ общимъ названіемъ гнили, а процессъ, ихъ обуславливающий, называется „гниеніемъ“.

Гниеніе.

Гниеніе дерева можетъ быть вызвано и поддержано или различными высшими растительными грибами (т. н. паразитными грибами) или же бактеріями—особыми микроорганизмами (пизоміцеты). Собственно говоря процессъ гниенія не вполне еще выясненъ; такъ на примѣръ, неизвѣстно, разлагается ли древесина подъ вліяніемъ продуктовъ, выделяемыхъ микроорганизмами при ихъ развитіи, или портится потому, что микроорганизмы, питаясь составными частями дерева, разлагаютъ ихъ. Одно лишь достовѣрно извѣстно, что всегда процессъ

гниенія сопровождается микроорганизмами и что непрерывнымъ условіемъ существованія ихъ является извѣстное содержаніе влаги и кислорода. Впрочемъ пизомикеты могутъ жить и не въ присутствіи воздуха, получая кислородъ отъ гнющаго вещества. Для строительной практики собственно важно, что дерево портится, разлагается. Чѣмъ же характеризуется гниеніе? Сначала теряется связь между отдѣльными волокнами дерева; послѣднія утрачиваютъ свою гибкость и крѣпость: дерево становится дряблымъ. Затѣмъ съ развитіемъ процесса утрачивается и вообще связь между отдѣльными частицами древесины—она легко распадается въ порошокъ. Одновременно съ измѣненіемъ механическихъ свойствъ дерева, измѣняется также его цвѣтъ и свойственный данной породѣ запахъ. Вообще свѣтлая древесина бурѣетъ, краснѣетъ, зелѣнѣетъ. (Гниль красная, зеленая, „синева“). Свойственный дубу характерный запахъ дубильной кислоты и хвойнымъ деревьямъ—запахъ скипидара, смолы—исчезаетъ. При нѣкоторыхъ видахъ гниенія древесины распадается въ сухой порошокъ (сухая гниль). Наконецъ при извѣстныхъ условіяхъ сгнившая часть можетъ совершенно исчезнуть для глаза, превратившись въ различные газы. Съ химической точки зрѣнія гниеніе состоитъ въ распаденіи клѣтчатки на составныя части. То или другое направленіе реакціи (поддерживаемое жизнедѣятельностью микроорганизмовъ) зависитъ отъ условій, при которыхъ происходитъ гниеніе дерева. Клѣтчатка ($C_6H_{10}O_5$) состоитъ изъ углерода, кислорода и водорода. Количество кислорода въ ней недостаточно для превращенія всего углерода въ CO_2 и водорода въ воду, т. е. для полного окисленія клѣтчатки. Подобное окисленіе можетъ имѣть мѣсто лишь при доступѣ кислорода извнѣ, напр. изъ атмосфернаго воздуха. Если оно совершается быстро и при сильномъ повышеніи t° , то процессъ окисленія называется горѣніемъ; медленное же окисленіе клѣтчатки при обильномъ доступѣ воздуха, результатомъ котораго является также полное разложеніе на CO_2 и H_2O , называется „тлѣніемъ“. При недостаточномъ количествѣ кислорода, процессъ окисленія составныхъ частей клѣтчатки, разумѣется, не можетъ идти до конца и въ результатѣ остается углеродистое вещество: перегной или гумусъ. Подобное неполное окисленіе клѣтчатки можетъ въ природѣ совершаться либо на воздухѣ въ присутствіи значительнаго количества влаги, либо подъ водою, слѣдовательно, безъ доступа воздуха. Первый процессъ, при которомъ выделяются H_2O и CO_2 и остается до 60% С. въ видѣ гумуса—называется *гумификаціей*, а второй, характеризующійся обильнымъ выдѣленіемъ болотнаго газа CH_4 —*лимификаціей*. Результатомъ обоихъ процессовъ, гумификаціи и лимификаціи является напр. образованіе торфа. Если влажность отсутствуетъ, то какъ извѣстно, дерево можетъ сохраняться безъ замѣтныхъ измѣненій въ теченіе тысячелѣтій (ящики изъ подѣ египетскихъ мумій). Подобное, крайне замедленное разложеніе древесины, называется „мумификаціей“.

Мы уже замѣтили, что вообще гніеніе немислимо безъ присутствія микроорганизмовъ (пизомицетовъ). Разсмотримъ теперь условія ихъ жизни и питанія. Влага необходима для поддержанія ихъ жизнедѣтельности: при недостаткѣ влаги въ воздухѣ пизомицеты сохнутъ и дѣятельность ихъ прекращается. Также останавливаетъ ихъ дѣятельность, но не убиваетъ—низкая t° . Высокая же (свыше 100°) убиваетъ. Убійственно дѣйствуютъ на эти организмы также кислоты и различные минеральные яды (напр. сулема). Пищей для пизомицетовъ служатъ азотистыя (бѣлковыя) вещества, углеводы, различные минеральные соли, т. е. какъ разъ составныя части растеній. Необходимо однако запомнить, что свернувшійся бѣлокъ не можетъ составлять для нихъ пищи: Температура наиболѣе благоприятная для развитія пизомицетовъ лежитъ въ предѣлахъ $20-35^{\circ}$ С.

Разсмотримъ сначала разрушеніе дерева, вызываемое различными высшими растительными грибами (паразитными грибами). Подобныхъ грибовъ множество и каждый изъ нихъ характеризуется своеобразнымъ разрушеніемъ древесины. Въ нашихъ лѣсахъ и строительной техники наиболѣе извѣстна „сосновая губка“ (*Trametes pini*), вызывающая на древесинѣ хвойныхъ деревьевъ „красную гниль“. *Seriatestoha piliferum*—грибъ, вызывающій синеву заболони хвойныхъ породъ; *polyporus salicimes* производитъ на осинѣ бѣлую и красную гниль; *Hydnum dinersideus*—бѣлую гниль на дубѣ и букѣ и наконецъ знаменитый „*Merulius lacrimans*“ или „домовый грибъ“. Такъ какъ разрушенія, производимыя послѣднимъ грибомъ въ деревѣ и деревянныхъ постройкахъ, чрезвычайно многочисленны и серьезны, то я изложу нѣсколько подробнѣе какъ строеніе этого гриба, такъ и характеръ его дѣятельности.

Домовый грибъ.

(*Merulius lacrimans*).

Домовый грибъ, какъ и всѣ высшіе грибы, размножается не спорами, но спорами (пылевидныя, мелкія частицы). Изъ споръ развивается нѣсколько тонкихъ нитей гифовъ, дающихъ затѣмъ начало т. н. грибницѣ или мицеллію. Грибница такимъ образомъ представляетъ собою вѣтвистое сплетеніе гифовъ, на подобіе паутины. Клѣтка гифовъ рѣзко отличаются отъ обыкновенной растительной клѣтки. Это азотистое вещество, не содержащее пластидъ и хлорофила. Мицелій или грибница служитъ для принятія пищевыхъ веществъ, для переработки этихъ послѣднихъ и для всѣхъ остальныхъ растительныхъ проявленій. При пораженіи дерева домовымъ грибомъ, вначалѣ замѣчаются лишь бѣлыя точки, которыя даютъ начало гифамъ; послѣдніе сплетаются, разрастаются и въ концѣ концовъ получается грибница въ видѣ пуши-

стаго, ватообразнаго скопленія. На поверхности грибницы часто замѣчаются мелкія росинки прозрачной, ѣдкой жидкости, давшей грибу названіе „слезящагося“ (lacrymans). Черезъ нѣсколько дней на грибницѣ *Merulius'a* развивается спороплодникъ, т. е. часть растенія, на которомъ образуются споры, служащія для размноженія гриба. Грибы, употребляемые въ общежитіи имѣютъ грибницу подъ землею; съѣдобною же частью собственно и является спороплодникъ. Спороплодникъ домашнего гриба отличается отъ спороплодниковъ другихъ высшихъ грибовъ отсутствіемъ ножки, стержня и шляпки. Въ первой стадіи развитія спороплодникъ *Merulius'a* имѣетъ видъ небольшого бѣлаго пятнышка; разрастаясь, онъ обращается въ лепешку со вздутыми кожистыми бѣлыми краями, между которыми въ срединѣ находится ноздреватая студенистая масса коричневаго цвѣта, усыпаемая спорами. По Гартигу величина спороплодника *Merulius'a* достигаетъ величины до 1 метра въ діаметрѣ. Споры представляютъ собою—розовый или коричневый порошокъ, чрезвычайно легко разсыивающійся при малѣйшемъ вѣтрѣ или сотрясеніи на большія разстоянія. Зараженіе домовымъ грибомъ и производится помощью этихъ споръ, а также нитями мицелія (гифами). Нити мицелія чрезвычайно живучи. Если грибъ напр. образовался въ погребѣ, то, помощью своихъ нитей онъ можетъ дойти до 5-го этажа, пробираясь черезъ швы кладки. При этомъ шнуръ мицелія, ползущій напр. по каменной стѣнѣ получаетъ влагу и необходимыя питательныя вещества отъ грибницы, удаленной отъ него на разстояніи нѣсколькихъ сажень и въ свою очередь питающейся составными частями древесины. Пораженіе дерева домовымъ грибомъ происходитъ слѣдующимъ образомъ. Гифы выделяютъ особый ферментъ, растворяющій стѣнки клѣточки и кромѣ того перерабатывающій питательныя вещества, заключенныя въ послѣдней въ продукты, удобовоспринимаемыя грибомъ. Главною пищею служатъ бѣлковыя вещества и целлюлеза. Дубильныя вещества также представляютъ хорошій питательный матеріалъ *Merulius'a*; этимъ объясняется исчезновеніе характернаго запаха здоровой древесины у дерева, пораженнаго этимъ грибомъ. Наконецъ грибныя нити извлекаютъ изъ стѣнокъ также и минеральныя вещества, о чемъ можно напр. судить по обильному выдѣленію ими щавелево-кислой соли. Особенно охотно поражается *Merulius'омъ* древесина хвойныхъ породъ, также дубовая. Инженеръ Баумгартенъ слѣдующимъ образомъ описываетъ картину разрушенія дерева, производимаго домовымъ грибомъ. „По мѣрѣ питанія грибныхъ нитей, стѣнки древесныхъ клѣтокъ утоняются, межклѣточное вещество разрушается, клѣтки теряютъ взаимную связь и разъединяются; при этомъ дерево теряетъ до 41,87% первоначальнаго вѣса, становится гигроскопичнымъ и впитываетъ влагу, подобно губкѣ; поверхность дерева покрывается трещинами, и по всей массѣ древесина получаетъ коричневое, а съ поверхности мѣстами черное окрашиваніе, что придаетъ дереву видъ обугленнаго; оно становится настолько рыхло, что пальцами растирается въ мелкій поро-

шокъ". Разсмотримъ теперь какія условія благопріятствуютъ жизнедѣятельности домового гриба и какія для него вредны и губительны? Проростаніе споръ *Merulius*'а происходитъ лишь въ щелочной средѣ, ибо споры эти имѣютъ на своихъ концахъ проростковыя отверстія, закрытыя особою, безпѣтною пробочкою. Пробочка же эта растворима лишь въ щелочахъ. Затѣмъ необходимымъ условіемъ жизни *Merulius*'а—это присутствіе влаги. Лишенные послѣдней грибныя гифы засыхаютъ и умираютъ. Вообще сырость въ связи съ застоємъ воздуха и недостатокъ свѣта—вотъ условія благопріятствующія развитію гриба. Хорошая вентиляція и свѣтъ быстро уничтожаютъ *Merulius*: нѣжныя его гифы засыхаютъ. Наиболѣе благопріятной температурой для развитія домового гриба можно считать температуру нашихъ жилыхъ помѣщеній. При температурѣ выше $+40^{\circ}$ C. грибница погибаетъ. Также убиваетъ грибницы и спороплодники t° ниже— 5° R. (Баумгартенъ). Споры домового гриба и спороплодники значительно менѣе чувствительны къ сухости воздуха, чѣмъ гифы, ибо ихъ плотные, кожистые покровы защищаютъ отъ высыханія болѣе нѣжныя внутреннія части.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію того вреда, который является послѣдствіемъ зараженія дерева домовымъ грибомъ. Послѣдствія эти имѣютъ экономическое и санитарное значеніе. Экономическая сторона вопроса сама собою понятна. *Merulius* вѣдь быстро разрушаетъ древесину не только живущихъ деревьевъ, но и срубленныхъ, наконецъ цѣлыя деревянныя постройки. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ въ настоящее время *Merulius* является настоящимъ *bête noire* строителей и домовладѣльцевъ.

Первоначальныя свѣдѣнія о домовомъ грибѣ, съ указаніемъ на разрушенія, причиняемыя имъ деревяннымъ зданіямъ появились въ технической литературѣ въ 18 столѣтіи. У насъ въ Россіи особенно заинтересовались этимъ грибомъ съ 1880 г. вслѣдствіе разрушенія имъ построекъ, частныхъ и казенныхъ, въ Брестъ-Литовскѣ. Въ настоящее время у насъ домовый грибъ особенно распространенъ въ Привислянскомъ краѣ, въ губ. Гродненской и Виленской; наконецъ были случаи разрушенія *Merulius*'омъ цѣлыхъ построекъ въ С.-Петербургѣ и Москвѣ. По свидѣтельству иностранныхъ техникувъ въ настоящее время въ Германіи почти нѣтъ города, пощаженнаго домовымъ грибомъ и убытки, причиняемые имъ домовладѣльцамъ достигаютъ многихъ милліоновъ марокъ. Примѣрами грандіозныхъ и быстрыхъ разрушеній, произведенныхъ *Merulius*'омъ могутъ служить совершенное истребленіе всѣхъ деревянныхъ потолочныхъ покрытій въ Мюнхенскомъ вокзалѣ Восточно-Баварской жел. дороги и разрушеніе балокъ въ домѣ Суворина въ Эртелевомъ переулкѣ (С.-Петербургъ), вслѣдствіе чего имѣло мѣсто обрушеніе потолка въ одномъ залѣ.

Антигигиеническое значеніе домового гриба. Многочисленные факты свидѣтельствуютъ объ огромномъ вредѣ, который причиняетъ домовый грибъ здоровью людей, обитающихъ въ помѣщеніяхъ, зараженныхъ

этимъ паразитомъ. Прежде всего въ помѣщеніяхъ развивается сырость и тяжелый запахъ. Мы уже замѣтили, что древесина, зараженная *Merulius*'омъ, получаетъ способность легко всасывать, подобно губкѣ, воду. Испаряясь, эта вода и обуславливаетъ сырость комнатъ. Хотя въ здоровомъ состояніи *Merulius* имѣетъ пріятный запахъ и даже съдобенъ (Гартигъ), но при гніеніи отмершихъ плодоносцевъ развиваются газы гниlostнаго запаха, вызывающіе головную боль, тошноту и нервные припадки. Затѣмъ споры *Merulius*'а попадая въ ротъ и дыхательныя органы вызываютъ цѣлый рядъ заболѣваній, преимущественно слизистыхъ оболочекъ дыхательныхъ органовъ. Является затрудненное дыханіе, пораженіе глазъ, гортани и дыхательнаго горла (сходныя съ дифтеритомъ). Нерѣдко пораженіе организма *Merulius*'омъ столь серьезны, что оканчиваются смертію.

Мѣры противъ домового гриба. Было уже замѣчено, что въ хорошо освѣщенномъ, отапливаемомъ и вентилируемомъ помѣщеніи *Merulius* живетъ и размножается не охотно. Но все эти средства (свѣтъ и хорошая вентиляция) несомнѣнно полезныя, не уничтожаютъ однако самого источника заразы. Для умерщвленія зародышей гриба необходимо прибѣгнуть къ помощи химическихъ реагентовъ. Предложено весьма много средствъ противъ домового гриба. Однимъ составомъ дерево обливается, другими обмазывается. Средства эти еще не вполне испытаны. Проф. Сорокинъ рекомендуетъ обливаніе дерева: 1) растворами поваренной соли, мѣднаго купороса, карболовою кислотою; обмазываніе балокъ и нижней поверхности пола березовымъ дегтемъ. Гартигъ (извѣстный знатокъ „болѣзней дерева“) рекомендуетъ для этой цѣли креозотъ, собственно жидкость, извѣстную въ торговлѣ подъ именемъ „Карболинеума“, главная составная часть котораго есть креозотное масло. Инженеръ Путей Сообщенія Герценштейнъ совѣтуетъ вводить креозотовое масло въ дерево въ парообразномъ состояніи, при помощи динамическаго давленія. Наконецъ инженеръ Баумгартенъ рекомендуетъ „Микотанатонъ“ (грибная смерть: *mykos*—грибъ, *thanatos*—смерть) Миллера, представляющій смѣсь растворенныхъ въ водѣ глауберовой соли, хлорной извести, соляной кислоты и сулемы. Этимъ составомъ (холоднымъ) дерево обмазывается при помощи обыкновенной большой малярной кисти, послѣ чего надо дать дереву хорошо высохнуть, прежде чѣмъ закрывать его поры краской, штукатуркой и т. п. Это средство по свидѣтельству инженера Баумгартена употребляется у насъ, въ военно-инженерной практикѣ, уже около 15 лѣтъ и всегда съ большимъ успѣхомъ, если только приготовленіе и примѣненіе состава производится подъ строгимъ контролемъ. Стоимость обмазки микотанатономъ Миллера со включеніемъ работы, посуды и инструментовъ не болѣе 10 коп. на одну кв. сажень. Недостатокъ этого средства—его ядовитость. Дѣйствительно при дѣйствіи соляной кислоты на хлорную известь выделяется свободный хлоръ—газъ чрезвычайно удушливый и ядовитый. Кромѣ того въ составъ микотанатона входитъ одинъ изъ сильнѣйшихъ

минеральных ядовъ—сулема. Кромѣ названныхъ веществъ существуетъ еще цѣлый рядъ средствъ противъ Merulius'a (и гніеніе вообще), изъ которыхъ я укажу на Миксіонъ, Гудронитъ, Эссикаторъ и Антиме-руліонъ.

Болезни живыхъ деревьевъ.

Гніеніе древесины можетъ начаться еще и при жизни дерева. По нѣкоторымъ виѣшнимъ признакамъ можно отличить больное дерево отъ здороваго. Такъ различаютъ: 1) *Суховершинность*. Какъ указываетъ само названіе, болѣзнь эта характеризуется усыханиемъ вершины дерева и обусловливается поврежденіемъ корней и гнилью сердцевины дерева. Возможность примѣненія подобнаго дерева для строительныхъ цѣлей зависитъ отъ размѣровъ болѣзни. 2) *Подпаръ* или дряблость нижней части дерева бываетъ у старыхъ деревьевъ, отъ перестоя на корнѣ (Деревья перестойныя). 3) *Сухоподстойными* называются деревья умершія на корню естественною смертію. Подобныя деревья по большей частью совершенно не годны; въ нихъ обыкновенно замѣтно начало гнили. 4) *Ракъ (мокрослой, водянка)*—открытая рана въ комлевой части ствола, изъ которой выдѣляется древесный сокъ. Деревья съ водяною безнадежны, ибо въ нихъ быстро развивается общій гнилостный процессъ.

Мѣры для увеличенія срока службы дерева.

Дерево какъ строительный матеріалъ обладаетъ двумя существенными недостатками: оно съ большей или меньшей легкостью подвергается процессамъ гніенія и, кромѣ того, горюче. Разсмотримъ теперь различныя средства, примѣняемыя и какъ противъ гніенія дерева, такъ и съ цѣлью сдѣлать его менѣе горючимъ.

Мѣры противъ гніенія. Намъ уже извѣстно, что гніеніе является результатомъ жизнедѣятельности различныхъ организмовъ, начиная съ простѣйшихъ микроорганизмовъ—бактерій и кончая болѣе сложными—высшими грибами. Организмы эти обыкновенно проникаютъ во внутренность дерева черезъ поры и трещины, причемъ влажность является необходимымъ условіемъ для развитія грибовъ и микроорганизмовъ, а содержащіеся въ растительныхъ сокахъ бѣлковыя вещества—наилучшимъ питательнымъ для нихъ матеріаломъ. Затѣмъ было упомянуто, что свернувшійся бѣлокъ не можетъ служить пищею для паразитныхъ грибовъ и пизомитетовъ. Изъ сказаннаго уже усматриваются мѣры для защиты дерева отъ скорого гніенія: нужно сдѣлать его съ

поверхности недоступнымъ какъ для упомянутыхъ организмовъ, такъ и для сырости; нужно удалить растительные соки или подвергнуть дерево такимъ операціямъ, при которыхъ бѣлковыя вещества свертываются.

Окраска. Простѣйшія мѣры для увеличенія срока службы дерева это окраска съ поверхности масляной краскою или просто горячей олифой, покрываніе лакомъ, обмазываніе газовой и древесной смолой и т. п. Необходимо дерево до покрытія указанными веществами предварительно хорошо просушить, ибо богатое соками дерево будучи окрашено или осмолено загниваетъ даже быстрѣе дерева съ неизмѣненною поверхностью. Иногда примѣняютъ для увеличенія прочности — обугливаніе дерева съ поверхности. Уголь представляетъ среду неблагоприятную для развитія микроорганизмовъ. Обыкновенно подвергаютъ обугливанію концы стоекъ, телеграфныхъ столбовъ и т. п., закапываемыхъ въ землю. Благодаря своей гигроскопичности уголь сохраняетъ постоянно извѣстную влажность, и дерево находится какъ бы подъ водою.

Удаленіе растительныхъ соковъ. Однимъ изъ вѣрныхъ средствъ для увеличенія прочности дерева является удаленіе растительныхъ соковъ. Удаленіе соковъ достигается при помощи различныхъ пріемовъ: выщелачиваніемъ холодною водою, вывариваніемъ и пропариваніемъ.

Выщелачиваніе въ холодной водѣ. Лѣсъ связывается въ плотъ, послѣдніе нагружаются камнями и затапливаются. Или бревно располагаютъ отрубомъ внизъ по теченію рѣки. Естественное выщелачиваніе совершается также при сплавахъ лѣса. Для полного удаленія соковъ въ холодной водѣ нужно однако нѣсколько мѣсяцевъ.

Вывариваніе въ водѣ производятъ въ плотно сколоченномъ деревянномъ ящикѣ, въ которомъ налита вода, нагрѣваемая паромъ. По этому способу выщелачиваніе соковъ совершается въ теченіе нѣсколькихъ часовъ. Но способъ этотъ удобенъ лишь при мелкомъ лѣсѣ. Крупный лѣсъ выщелачивается путемъ пропариванія въ желѣзныхъ цилиндрахъ, деревянныхъ ящикахъ и въ каменныхъ бассейнахъ подъ давленіемъ. Объ этой операціи будетъ подробно изложено ниже, при описаніи способовъ консервированія дерева при помощи раствора хлористаго цинка.

Пропитываніе дерева антисептиками. Описанные способы, не сомнѣнно увеличивающіе до извѣстной степени долговѣчность дерева, оказываются однако недостаточными, когда дерево находится въ особенно неблагоприятныхъ условіяхъ, подобно тѣмъ, напр., въ какихъ находятся деревянные желѣзнодорожныя шпалы. Въ этомъ случаѣ прибѣгаютъ къ пропитыванію дерева особыми противогниlostными веществами или антисептиками. Вещества эти должны удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ: 1) свертывать бѣлковыя вещества, 2) убивать зародыши микроорганизмовъ, 3) не выщелачиваться изъ дерева водою. Уже съ давнихъ поръ консервированіе дерева составляетъ предметъ изученія технологовъ. Много предложено для данной цѣли средствъ и способовъ, но ни одно изъ нихъ къ сожалѣнію не можетъ назваться идеальнымъ.

Я опишу нѣкоторыя изъ нихъ, наиболѣе въ настоящее время употребительныя.

Кіанизация. Способъ предложенный въ 1823 г. англичаниномъ Кіаномъ состоитъ въ вымачиваніи дерева въ растворѣ (0,5 — 1%) сулемы, т. е. двухлористой ртути. Сулема представляетъ собою весьма сильное противугниlostное средство и слабо выщелачивается водою, поэтому, пронизанныя сулемою шпалы служатъ 15 — 20 лѣтъ. Способъ этотъ однако мало распространенъ главнымъ образомъ вслѣдствіе дороговизны и сильной ядовитости двухлористой ртути.

Пропитываніе растворомъ мѣднаго купороса (способъ Бушери 1840). Растворъ мѣднаго купороса въ 1—2,5% вгоняется подъ небольшимъ давленіемъ въ комли бревенъ. Мѣдный купоросъ является весьма дѣйствительнымъ антисептическимъ средствомъ; образуетъ съ бѣлковыми веществами дерева нерастворимыя соединенія, но обладаетъ тѣмъ серьезнымъ недостаткомъ, что разрушительно дѣйствуетъ на рельсы и желѣзные костыли: $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$. У насъ въ Россіи въ настоящее время для пропитыванія шпалъ и телеграфныхъ столбовъ примѣняется почти исключительно хлористый цинкъ.

Хлористый цинкъ былъ впервые предложенъ въ 1838 году англичаниномъ Бурнэтомъ. Растворъ употребляютъ плотностью въ 3° по Боме. Для введенія этого раствора въ дерево примѣняютъ такъ наз. „пневматическій способъ“, состоящій въ томъ, что въ закрытыхъ желѣзныхъ цилиндрахъ пропитываютъ дерево растворомъ хлористаго цинка подъ давленіемъ нѣсколькихъ атмосферъ. Весь процессъ пропитыванія хлористымъ цинкомъ состоитъ изъ слѣдующихъ операцій.

Въ желѣзныхъ закрытыхъ цилиндрахъ, пропариваютъ шпалы въ теченіе часа паромъ, упругостью въ $1\frac{1}{2}$ — 2 атмосферы. При этомъ древесные соки разжижаются, а ткани древесины размягчаются, вслѣдствіе чего должно облегчиться послѣдующее проникновеніе антисептического раствора. Во время пропариванія температура поднимается до 100° и разумеется при этомъ бѣлковыя вещества свертываются. Операція эта, требуемая нашими техническими условіями приѣмки, многими техниками считается не только излишнею, но даже вредною. Нарушается связь между клѣточками дерева и сопротивленіе механическимъ усиліямъ падаетъ. Кромѣ того бѣлковыя вещества, свертываясь при т° пропариванія закупориваютъ древесныя поры и тѣмъ препятствуютъ послѣдующей пропиткѣ растворомъ хлористаго цинка.

Послѣ пропарки выпускаютъ выщелачившійся сокъ и сгущенный паръ изъ цилиндра и производятъ затѣмъ въ послѣднемъ вакуумъ для облегченія выхода остатковъ сока изъ древесины.

Теперь изъ резервуаровъ помощью особыхъ трубъ впускаютъ въ цилиндръ приготовленный заранее растворъ хлористаго цинка, и затѣмъ доводятъ давленіе *) до 6—8 атмосферъ, которое и поддерживаютъ отъ

*) При помощи особаго насоса, накачивающаго въ цилиндръ растворъ хлористаго цинка.

1 до 2 часовъ. Послѣ этой операціи дерево считается пропитаннымъ. Шпалу впрочемъ можно употреблять въ дѣло лишь послѣ послѣдующей медленной просушки въ теченіи 2—4 мѣсяцевъ.

Стоимость пропитыванія хлористымъ цинкомъ одного кубическаго фута шпалъ: дубовыхъ—5 коп., сосновыхъ—7 коп., еловыхъ—8 коп. (меньше всего поглощается растворъ древесиною дуба, затѣмъ сосны и наконецъ ели). Значительный недостатокъ излагаемаго способа заключается въ сравнительно легкой выщелачиваемости хлористаго цинка водою. Кромѣ того, самъ по себѣ, хлористый цинкъ обладаетъ сравнительно незначительною антисептическою способностью. Пропитанные хлористымъ цинкомъ шпалы служатъ около 8—12 лѣтъ, не пропитанные—4 года.

Смолы и крезотовое масло. Давно извѣстно, что древесная смола обладаетъ антисептическими свойствами. Это зависитъ отъ присутствія въ ней креозота (сильно противогниlostнаго средства), а также парафина, обладающаго свойствомъ закупоривать поры дерева и препятствовать, слѣдовательно, проникновенію влажности. Впослѣдствіе замѣтили, что и каменноугольный деготь (побочный продуктъ фабрикаціи свѣтильнаго газа изъ каменнаго угля) обладаетъ антисептическими свойствами вслѣдствіе содержанія фенола или корболовой кислоты (свертывающаго бѣлковыя вещества и убивающаго микроорганизмы) и нафталина, закупоривающаго поры.

Въ настоящее время, впрочемъ, для пропитыванія дерева употребляютъ не самыя смолы, но нѣкоторые промежуточные продукты фракціонной перегонки, главнымъ образомъ каменноугольнаго дегтя, именно „тяжелыя масла“, перегоняющіяся между 180—270° С. Масла эти, зеленовато-желтаго цвѣта у. в. 1,07 содержатъ около 8% феноловъ и 16—20% нафталина и вовсе не содержатъ креозота, хотя въ технику и известны подъ названіемъ „крезотовыхъ маселъ“ *). Самый способъ введенія этихъ маселъ въ дерево и аппараты, служащіе для этого, тѣ же, что и при пропитываніи растворомъ хлористаго цинка; не примѣняется лишь операція пропариванія, ибо остающаяся въ деревѣ влага препятствуетъ прониканію масла. Напротивъ, дерево передъ пропиткою просушивается. Пропитываютъ подъ давленіемъ 8 атмосферъ въ теченіе 2—4 часовъ. Дабы облегчить проникновеніе въ дерево масла, послѣднее передъ впускомъ въ цилиндръ предварительно подогревается до 40—70° С. Пропитываніе креозотомъ въ Россіи должно обойтись для дуба 8 коп., сосны 10 коп., ели 12 коп. за куб. футъ. Шпалы, пропитанныя крезотнымъ масломъ, постоянно возобновляютъ въ теченіе мно-

*) Впрочемъ „крезотное масло“—названіе условное. Это собственно смѣсь въ различныхъ пропорціяхъ нафталина, феноловъ, антрацена и другихъ углеводородовъ. Такъ напр. отъ продажнаго креозота въ Германіи требуютъ, чтобы въ немъ было 4—8% фенола, 5% нафталина и 15% зеленыхъ маселъ, растворенныхъ въ щелоку, а во Франціи находятъ достаточнымъ 3—4% фенола, но 15—20% нафталина и т. п.

Вулканизация дерева. Этот прием предложен Robbins'омъ въ 1880 г. и затѣмъ усовершенствованъ американцемъ Хаскинымъ (1891 г.). Принципъ способа состоитъ въ слѣдующемъ. При пропитываніи дерева помощью напр. раствора хлористаго цинка, предварительно изъ него пропариваніемъ удаляется легко загнивающий древесный сокъ. Хаскинъ предполагаетъ, что этотъ сокъ можетъ быть въ самомъ же деревѣ превращенъ при помощи сухой перегонки въ антисептикъ, слѣдовательно нужно не извлекать соки изъ дерева, а препятствовать ихъ выходу. Послѣ превращенія соковъ въ антисептикъ, разумѣется, излишне становится дальнѣйшая пропитка посторонними противогнильными веществами. Для достиженія предполагаемой цѣли, Хаскинъ подвергаетъ дерево въ закрытыхъ стальныхъ цилиндрахъ дѣйствію перегрѣтаго пара. Перегрѣтымъ паромъ нагрѣваютъ дерево до 270° С. Дабы препятствовать выходу соковъ изъ дерева, дѣйствіе пара происходитъ въ атмосферѣ сжатого воздуха ($13\frac{1}{2}$ атм.). Сначала въ цилиндръ нагнетается воздухъ подъ давленіемъ $13\frac{1}{2}$ атм., а затѣмъ впускаютъ перегрѣтый паръ. При этихъ условіяхъ часть древесины и соки подвергаются какъ бы сухой перегонкѣ, и образующіеся фенолы, смолы и другіе продукты, пропитываютъ дерево. Послѣ вулканизации дерево по всему поперечному сѣченію приобретаетъ болѣе темный цвѣтъ (этимъ обстоятельствомъ пользуются также для приданія дереву, идущему на изготовленіе мебели болѣе красиваго темнаго цвѣта). Крѣпость вулканизированнаго дерева будто бы при этомъ повышается, дерево становится тверже, но гибкость его уменьшается. Слѣдуетъ признать, что какъ о самомъ способѣ вулканизации, такъ и о вызываемыхъ имъ измѣненіяхъ въ древесинѣ, положительныхъ данныхъ въ настоящее время еще не имѣется, и мнѣнія специалистовъ на этотъ счетъ рѣзко расходятся.

Шпало-пропиточные заводы.

Заводы для пропитки шпалъ бываютъ передвижные и постоянные.

Подвижные пропиточные заводы. Они примѣняются, когда шпалы, предназначенныя для пропитыванія сосредоточены не въ одномъ мѣстѣ, а въ нѣсколькихъ. Весь заводъ состоитъ собственно изъ двухъ платформъ: изъ платформы, на которой находится пропиточный цилиндръ, и платформы, на которой помѣщается паровая машина, паровой котель, насосы и прочія приспособленія. По мѣрѣ надобности эти платформы передвигаются по линіи отъ одного склада шпалъ до другого. Работа на подвижныхъ заводахъ ничѣмъ не отличается отъ пропитки на заводахъ постоянныхъ, а поэтому я ограничусь описаніемъ послѣднихъ.

Я опишу устройство и ходъ работы (въ общихъ чертахъ) послѣдняго мною описаннаго завода Николаевской желѣзной дороги (см. приложение).

Мѣры для уменьшенія воспламенности дерева.

Перейдемъ теперь къ описанію способовъ борьбы противъ другого опаснаго врага дерева—огня. До сихъ поръ еще не найденъ способъ сообщать дереву абсолютную несгораемость. Всѣ примѣняемые способы уменьшаютъ лишь способность дерева горѣть пламенемъ, дають такъ сказать „тлѣющее дерево“. Многочисленные средства, съ этой цѣлью предложенныя, можно раздѣлить на двѣ группы. Одними дерево покрывается съ поверхности, другими пропитывается. Вещества, служація для покрытія поверхности дерева, должны: 1) хорошо держаться на поверхности дерева; 2) быть не горючими; 3) дурно проводить тепло. Изъ различныхъ, предложенныхъ для этой цѣли, средствъ наиболѣе употребительны слѣдующія: растворъ такъ наз. растворимаго стекла (фуксового) въ смѣси съ глиною, мѣломъ, тяжелымъ шпатомъ. Къ этой категоріи относится и пресловутый составъ Бабаева. Удовлетворительные результаты даетъ покрытіе также слѣдующимъ составомъ: 25 в. ч. измельченнаго тяжелаго шпата, и 1 в. ч. цинковыхъ бѣлилъ смѣшиваются съ 25 в. ч. растворимаго стекла и 20 в. ч. воды. Этимъ составомъ покрываютъ дерево двукратно. Въ послѣднее время стали употреблять для данной цѣли также растворъ хлористаго кальція, къ которому примѣшана гашеная известь. Наконецъ примѣняютъ и смѣсь растворовъ квасцовъ и желѣзнаго купороса и др.

Дерево, покрываемое противопожарнымъ составомъ должно быть предварительно высушено (см. выше). Затѣмъ въ составъ предохранительныхъ веществъ не должна входить свободная щелочь, вредно дѣйствующая на прочность древесины. Лучше достигаетъ цѣли „пропитываніе дерева“ различными предохранительными составами. Составы эти при высокой температурѣ либо плавятся, напр. вольфрамонатріевая соль, либо выдѣляютъ газы, препятствующіе горѣнію напр. сѣрноаммоніевая соль. Пропитываніе дерева съ цѣлью сдѣлать его болѣе безопаснымъ въ пожарномъ отношеніи практикуется въ американскомъ и англійскомъ военныхъ флотахъ. По англійскимъ даннымъ хорошіе результаты получаютъ при пропитываніи дерева смѣсью насыщенныхъ растворовъ сѣрнокислаго аммонія и фосфорнокислаго аммонія. Въ заключеніе замѣтимъ, что механическіе приемы, сообщающіе дереву гладкую поверхность, также въ значительной степени уменьшаютъ способность его воспламеняться. Большинство изъ предложенныхъ составовъ для пропитыванія дерева дѣлають его, къ сожалѣнію, пригоднымъ для примѣненія затѣмъ лишь въ помѣщеніяхъ крытыхъ, въ виду легкой выщелачиваемости дождемъ различныхъ входящихъ въ составъ смѣси солей.

Заготовка лѣсного матеріала.

Выбравъ въ лѣсу дерево, пригодное для данной цѣли, его валить. Существующіе способы валки дерева можно раздѣлить на двѣ группы: валка съ корнями (корчеваніе) и снятіе дерева съ корня. При корчеваніи, корни дерева окапываютъ, нѣкоторые изъ нихъ подрубаются и ослабленное такимъ образомъ въ своемъ основаніи дерево валить на землю помощью веревки, привязанной къ его вершинѣ, помогая въ то же время его паденію рычагами, подводимыми подъ корни. Способъ этотъ примѣняется лишь въ тѣхъ случаяхъ когда желаютъ получить по возможности длинное дерево, или же желательно воспользоваться ближайшими къ стволу частями корней, (напр. при полученіи т. н. „короны“—бревна съ частью корня, употребляемого для постройки судовъ). Наиболѣе распространена у насъ рубка дерева топорами. Для этой цѣли, съ той стороны, куда должно упасть дерево, стволъ подрубается на глубину болѣе половины его діаметра; затѣмъ подрубаютъ его съ противоположной стороны, но нѣсколько выше перваго надрѣза и во второй надрѣзъ вбиваютъ клинья. Валка такимъ образомъ подрѣзаннаго дерева производится обыкновенно, затѣмъ, при помощи веревки, привязанной къ его вершинѣ. Такимъ же образомъ поступаютъ и при примѣненіи пилы. Послѣдній способъ не такъ быстръ, какъ первый, но болѣе экономиченъ (можно рѣзать стволъ ближе къ землѣ и нѣтъ траты дерева на щепки). Въ большихъ лѣсныхъ хозяйствахъ употребляютъ для валки дерева особыя машины, какъ корчевальныя, такъ и пильныя. Поваленное дерево для болѣе быстрой сушки оставляютъ иногда лежать въ листьяхъ до осени. Во всякомъ случаѣ дерево, освобожденное отъ сучьевъ и коры, должно быть по возможности скорѣе вывезено изъ лѣсу въ виду вреднаго вліянія лѣсной сырости.

Время валки дерева. Относительно времени валки, наивыгоднѣйшаго въ смыслѣ полученія дерева наилучшихъ техническихъ качествъ, существуютъ разногласія. Большинство однако считаютъ, что дерево зимней рубки лучше весенней или лѣтней (см. выше). Во всякомъ случаѣ рубить дерево во время сильныхъ морозовъ нельзя, ибо тогда дерево очень хрупко и легко можетъ при паденіи дать трещины. Для того, чтобы опредѣлить, срублено ли дерево зимою или лѣтомъ (также весною), служатъ обыкновенно т. н. „іодная проба“. Свѣжія разрѣзы древесины смачиваютъ слабымъ растворомъ іода. Если дерево срублено зимою, то поверхность разрѣза окрасится въ болѣе или менѣе интенсивный синій цвѣтъ. Способъ основанъ на свойствѣ крахмального клейстера окрашиваться растворомъ іода въ синій цвѣтъ. Зимой же въ въ клеткахъ древесины замѣчается запасъ свободного крахмала, ибо осенью листья вырабатываютъ болѣе крахмала, чѣмъ необходимо для образованія новыхъ клетокъ въ теченіе зимы. Избытокъ крахмала и

отлагается, такъ сказать, на запасъ въ паренхиматическихъ клѣточкахъ древесины.

Сорта лѣсныхъ матеріаловъ.

Круглый лѣсъ получается непосредственно послѣ освобожденія ствола отъ листьевъ, вѣтвей и коры путемъ раздѣленія его на части по длинѣ. *Пиленый лѣсъ* получается изъ круглаго путемъ распиловки ствола вдоль волоконъ, наконецъ *колотый лѣсъ* получается раскалываніемъ короткихъ бревенъ (кругляковъ) по радіусамъ. Затѣмъ въ зависимости отъ назначенія лѣсной матеріалъ раздѣляется еще на *строговой лѣсъ*—(крупный лѣсъ) и лѣсъ *подълочный*—(столярный, токарный, щепной и т. д.).

Круглый лѣсъ. Очищенный отъ коры древесный стволъ, представляющій собою болѣе или менѣе правильный цилиндръ, называется *бревномъ*. Къ вершинѣ основанія толщина бревна постепенно уменьшается. Тонкій конецъ бревна называется „отрубомъ“; толстый „комлемъ“. Утоненіе ствола не должно быть болѣе 1 вершка (обыкновенно для хвойныхъ породъ $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ вершка) на погонную сажень. При большемъ утоненіи бревно называется закомелистымъ и иногда бракуется. Длина бревенъ измѣряется саженьми, а мѣрою толщины служитъ діаметръ его въ тонкомъ концѣ, т. е. у отруба, выраженный въ вершкахъ, причемъ дроби менѣе $\frac{1}{2}$ вершка отбрасываются, а болѣе $\frac{1}{2}$ вершка считаются за цѣлый вершокъ. Если діаметръ ствола въ отрубѣ менѣе 4 вершковъ, то онъ уже называется не бревномъ, а: 1) подвязникомъ—при толщинѣ въ 3—4 вершка; 2) накатникомъ при толщинѣ въ 2—3 вершка; 3) жердью, если діаметръ менѣе 2 вершковъ. Длина бревенъ бываетъ отъ 2 до 10 саж.; наиболѣе употребительные размѣры 2, 3, 4 саж.

Пиленый лѣсъ. Къ этому отдѣлу относятся слѣдующіе сорта.

1) *Пластины* (ф. 275) бревно, распиленное пополамъ вдоль волоконъ. Назначеніе: на стѣны нежилыхъ помѣщеній, на устройство черныхъ половъ, подземныхъ сточныхъ трубъ и т. д.

2) *Четвертина* (ф. 276) бревна распиленные на 4 части.

3) *Горбыли* (ф. 277) части бревна меньше пластины; обыкновенно остатки отъ распиловки бревенъ на доски. Назначеніе: для кровель и навісовъ.

3) *Лежни*—бревна у которыхъ опилены или отесаны два горбыля (ф. 278). Ихъ называютъ также брусьями, отесанными на два „канта“.

5) *Брусьями*, называются бревна, отесанные на 4 канта, т. е. снятыми 4 горбылями (ф. 279), причемъ размѣръ прямоугольнаго сѣченія вообще немного разнится между собою.

6) *Голландскій брусъ* (ф. 280). Въ немъ сохранены „обливны“, т. е. части цилиндрической поверхности на продольныхъ кромкахъ бруса. Дѣлается это съ цѣлю получения болѣе толстаго бруса, чѣмъ при чистыхъ кромкахъ, изъ того же бревна.

7) *Ванчусъ* (Wagnesschoss) (ф. 281). Служить для выпиливанія фанерокъ.

8) *Брусокъ*. Брусокъ или рѣшетникъ—брусъ малой толщины 2,5—3", обыкновенно квадратный, получаемый отъ продольной распиловки досокъ. Употребляется на обрѣшетку кровель и т. п.

9) *Доски*. Доски суть брусья, въ которыхъ одно изъ измѣреній поперечнаго сѣченія значительно меньше другого. Длиною доски бываютъ 3, 4 и 5 сажень. Различаютъ слѣдующія сорта досокъ.

По внѣшнему виду. 1) Чистыя или обрѣзныя (а) ф. 282. (Все углы прямые; получаютъ путемъ распиловки бревенъ со снятыми горбылями или брусевъ). 2) Полуобрѣзныя (b) ф. 282. Имѣютъ лишь два прямыхъ угла, другіе же два угла закруглены. 3) Получистыя (с) ф. 282—не имѣютъ вовсе прямыхъ угловъ. Получаются онѣ путемъ распиловки бревенъ, безъ предварительнаго снятія горбылей. 4) Барочныя доски—получаются при разборкѣ старыхъ барокъ. Въ нихъ много отверстій, забитыхъ деревянными нагелями. Идутъ напр. для устройства перегородокъ подъ штукатурку. 5) Бракъ—доски съ различными недостатками: неполной мѣрки, съ трещинами, сквозными сучьями и т. п.

Дѣленіе досокъ по толщинѣ. Толщина, а также и ширина досокъ выражается въ дюймахъ или вершкахъ. Доскамъ разной толщины присваиваютъ особыя названія и каждый сортъ имѣетъ въ строительномъ дѣлѣ свое определенное значеніе. По толщинѣ доски дѣлятся на: 1) Мадрильныя или ларевыя. Это самыя толстыя доски (3—4"). Идутъ въ дѣло преимущественно для гидротехническихъ сооружений. 2) Половыя (2—2½"). Идутъ на устройство чистыхъ половъ, оконныхъ переплетовъ, чистыхъ перегородокъ и т. п. 3) Кровельные или тесовыя (1¼—1") на деревянные кровли, на обшивку деревянныхъ стѣнъ и потолковъ подъ штукатурку. 4) Вагонникъ—доски толщиной отъ ½ до 1" у которыхъ вдоль одной кромки вынуть во всю длину пазъ, а другая кромка обдѣлана въ видѣ гребня. Служатъ для обшивки внутреннихъ поверхностей деревянныхъ стѣнъ. 5) Фанерка—доски въ ¼ и менѣе, изъ болѣе цѣнныхъ породъ, употребляемыя для обклейки мебели. Дубовыя тонкія доски, называемыя фанерами идутъ на паркетные полы. По ширинѣ различаютъ: батамсы 7", девятка—9", десятка—10", сортовка—11" (шириною).

Колотый лѣсъ. Сюда относятся: 1) Кровельная дрань—тонкія дощечки, служащія для устройства кровель (длиною около 8 вер., шири-

ною 4 вер. 2) Штукатурная дрань—дощечки длиною въ 1 саж., шириною—одионочная (1") полуторная $1\frac{1}{2}$ " и двойная 2"; толщиною $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{4}$ ". Продается тысячами, связанная въ пучки. Идетъ подъ штукатурку деревянныхъ стѣнъ и потолковъ. 3) Гонтъ или деревянная черепица (ф. 283). Служить для устройства кровель. Короткія бревна-кругляки (1 ар.) раскалываются по радіусамъ и на выпуклой сторонѣ полученнаго клина вынимають пазъ. 4) Клепка—доски, идущія на изготовленіе бочекъ.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Естественными каменными строительными материалами являются разнообразныя горныя породы. Горныя породы суть неорганическія части земной коры, въ большинствѣ случаевъ представляющія собою конгломераты различныхъ минераловъ. Драгоценнѣйшія техническія свойства каменныхъ материаловъ: крѣпость и прочность. Чѣмъ интенсивнѣе обнаруживаются эти свойства, т. е. чѣмъ больше сопротивляемость внѣшнимъ механическимъ усиліямъ (крѣпость) и чѣмъ выше сопротивляемость различнымъ атмосфернымъ дѣятелямъ и рѣзкимъ колебаніямъ температуры (прочность), тѣмъ выше достоинство горной породы какъ строительнаго матеріала. Иногда отъ каменнаго матеріала требуется еще и опредѣленный цвѣтъ, болѣе или менѣе красивый внѣшній видъ, извѣстная способность къ обработкѣ и т. п. Технические свойства горной породы, зависятъ, разумѣется, отъ физическихъ и химическихъ свойствъ отдѣльныхъ минералогическихъ индивидуумовъ, входящихъ въ ея составъ. Но знаніе свойствъ отдѣльныхъ минераловъ, входящихъ въ составъ горной породы, еще не достаточно для сужденія о пригодности ея въ качествѣ строительнаго камня. Отдѣльные минералы, составляющіе горную породу могутъ вполне удовлетворять вышеприведеннымъ требованіямъ, т. е. обладать достаточною крѣпостью и прочностью, но въ то же время могутъ быть склеены между собою такъ слабо, что достаточно незначительнаго механическаго усилія для ихъ разъединенія. Отсюда ясно, что для полученія полнаго представленія о качествѣ данной горной породы необходимо кромѣ знанія физико-химическихъ свойствъ отдѣльныхъ минераловъ знать еще, какова сила ихъ спѣленія между собою, характеръ ихъ взаимнаго расположенія въ горной породѣ, т. е., другими словами, необходимо еще знать и структуру изучаемаго каменнаго матеріала. Мы поэтому прежде всего познакомимся съ важнѣйшими минералами входящими въ составъ горныхъ породъ, примѣняемыхъ для строительныхъ цѣлей, а затѣмъ и съ структурою самыхъ горныхъ породъ.

Важнѣйшіе минералы, входящіе въ составъ наиболѣе употребительныхъ въ строительномъ дѣлѣ горныхъ породъ, и ихъ свойства.

Изъ физическихъ свойствъ минераловъ для строительныхъ цѣлей наиболѣе существенны: удѣльный вѣсъ, твердость, сопротивляемость механическимъ усиліямъ, пористость, теплопроводимость, расширяемость при нагреваніи, вязкость, слоистость и, наконецъ, внѣшній видъ (цвѣтъ, блескъ и т. п.).

Силикаты (соединенія кремневой кислоты).

Кремнекислота, SiO_2 встрѣчается въ природѣ въ двухъ видоизмѣненіяхъ: кристаллическомъ и аморфномъ.

Къ кристаллическому видоизмѣненію принадлежатъ напр. кварцъ и горный хрусталь.

Кварцъ составляетъ важнѣйшую составную часть многихъ горныхъ породъ: гранитовъ, гнейсовъ, порфировъ, кварцитовъ и др. Обладаетъ значительною твердостью (7 по шкалѣ Моса *) прочностью. Удѣльный вѣсъ 2,65. Размягчается лишь въ пламени гремучаго газа (свыше 2000° С.). Атмосферные дѣятели на кварцъ почти не дѣйствуютъ. Въ чистомъ видѣ безцвѣтенъ, но часто окрашенъ въ розовый, сѣрый, бурый или фіолетовый цвѣтъ отъ примѣсей незначительныхъ количествъ органическихъ веществъ, окиси желѣза и др. Спайностью **) почти не обладаетъ, а потому изломъ имѣетъ раковистый, часто съ жирнымъ, маслянистымъ блескомъ. Изъ кислотъ растворяющимъ образомъ на кварцъ дѣйствуетъ лишь плавиковая кислота. Съ щелочами при возвышенной t^0 образуетъ химическія соединенія, такъ наз. силикаты. Для насъ важно замѣтить значительную твердость кварца, его неизмѣняемость на воздухѣ, отсутствіе спайности и высокую огнеупорность. Коэффициентъ кубическаго расширенія кварца = 0,000039—0,000042.

Къ аморфному видоизмѣненію кремневой кислоты принадлежатъ напр. опалъ, кремень и инфузорная земля. Удѣльный вѣсъ кремня и опала—2,2—2,3. Твердость 6.

Группа полевыхъ шпатовъ. Полевые шпаты по химическому составу являются соединеніями кремнезема съ окисью алюминія и щелочами или щелочными землями. Различаютъ ортоклазъ или калийный

*) Для опредѣленія степени твердости служитъ обыкновенно такъ наз. шкала Моса, въ которой минералы расположены въ порядкѣ повышающейся твердости. Каждый изъ минераловъ этой шкалы проводитъ черту на поверхности предыдущаго.

- | | | |
|-------------------------------|---------------|-------------|
| 1) Талькъ. | 5) Апатитъ. | 9) Корундъ. |
| 2) Каменная соль (или гипсъ). | 6) Ортоклазъ. | 10) Алмазь. |
| 3) Известковый шпатъ. | 7) Кварцъ. | |
| 4) Плавиковый шпатъ. | 8) Топазь. | |

**) Спайностью минерала называется его способность раскалываться болѣе или менѣе правильно по кристаллическимъ плоскостямъ.

полевой шпатъ, состоящій изъ SiO_2 , Al_2O_3 и K (KAlSi_3O_8), альбитъ или натронный полевой шпатъ ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) состоящій изъ кремнезема, глинозема и окиси натрія, анортитъ или известковый полевой шпатъ ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); олигоклазъ и лобродоръ (натронно-известковые полевые шпаты. Альбитъ и анортитъ обозначаются также общимъ названіемъ плагиоклаза. Полевые шпаты отличаются отъ кварца меньшею твердостью, меньшимъ удѣльнымъ вѣсомъ, ясно выраженной спайностью *) и, что особенно важно замѣтить, съ теченіемъ времени подвергаются на воздухѣ процессу механическаго вывѣтриванія. Мы уже знаемъ, что результатомъ этого процесса являются глины. Особенно легко подвергаются процессу вывѣтриванія плагиоклазы. Твердость полевыхъ шпатовъ 6. Удѣльный вѣсъ отъ 2,56—2,76.

Группа слюды. Слюды представляютъ собою водные силикаты Al , K , Na и Mg , съ характернымъ листообразнымъ сложеніемъ и съ рѣзко выраженной спайностью по поверхности листочковъ. Твердость 2—3. Удѣльный вѣсъ 2,7—3,1. Обыкновенно различаютъ мусковитъ и біотитъ.

Мусковиты — калийная слюда. Состоитъ изъ калия, глинозема и кремнезема. Эта слюда чаще безцвѣтна, иногда желтовата. Благодаря прозрачности иногда замѣняетъ стекло.

Біотитъ магнезiальная слюда содержащая также желѣзо. Состоитъ изъ магнезiи, калия, глинозема, окиси желѣза и кремнезема. Эта слюда чернаго цвѣта, въ тонкомъ шлифѣ коричневаго. Мусковитъ не вывѣтривается въ отличіе отъ біотиза. Вслѣдствіе сильно выраженной спайности, значительное содержаніе слюды увеличиваетъ способность камней раскаливаться и вообще уменьшаетъ его крѣпость.

Роговая обманка суть силикаты, содержащiе известъ, магнезiю желѣзо и глиноземъ. Различаютъ собственно роговую обманку или амфиболъ и авгитъ.

Минералы, содержащiе углекислоты, болѣе или менѣе легко отдаютъ углекислоту при дѣйствіи возвышенной температуры и кислотъ.

Углекислая известъ CaCO_3 въ видѣ известковаго шпата (кальцита) и его разновидности—аррагонита.

Известковый шпатъ кристаллизуется въ ромбоэдрахъ, растворяется на холоду въ HCl . Твердость 3; Удѣльный вѣсъ 2,6—2,8. Иногда безцвѣтенъ, иногда съ голубоватымъ, красноватымъ, черноватымъ и т. д. оттѣнкомъ. При накаливаніи выделяетъ CO_2 и остается окись кальція CaO . Неплавокъ.

Аррагонитъ. Твердость 3,5—4. Удѣльный вѣсъ 2,9—3. Кристаллизуется въ ромбахъ. Неплавокъ.

Магнезитъ MgCO_3 . Твердость 4—4,5; удѣльный вѣсъ 2,9—3,1. Растворяется при нагреваніи въ HCl . Неплавокъ.

*) Калийный полевой шпатъ обладаетъ способностью раскаливаться по взаимно перпендикулярнымъ плоскостямъ. Плоскости спайности плагиоклазовъ наклонно расположены.

Доломитъ—смѣсь углекислой извести и магнезін. Нормальный доломитъ $MgCO_3CaCO_3$ содержитъ указанныя соединенія въ эквивалентныхъ отношеніяхъ. Въ холодной HCl растворяется съ трудомъ, въ нагрѣтой легко. Твердость 3,5 — 4. Удѣльный вѣсъ 2,85 — 2,95. Не плавовъ.

Шпатовый желѣзнякъ или сидеритъ $FeCO_3$. Твердость 4. Удѣльный вѣсъ 3,8. При вывѣтриваніи переходитъ въ бурый желѣзнякъ.

Минералы, содержащіе сѣрную кислоту.

Гипсъ— $CaSO_4 + 2H_2O$ и его безводная разновидность ангидритъ ($CaSO_4$) будутъ подробно описаны ниже.

Сѣрный колчеданъ FeS_2 . Весьма вредною примѣсью каменныхъ строительныхъ матеріаловъ является сѣрный колчеданъ, FeS_2 или двусѣрное желѣзо, ибо оно подъ вліяніемъ влажности и кислорода воздуха легко окисляется въ основныя сѣрнокислыя соли, значительно при этомъ увеличиваясь въ объемъ и обуславливая разрыхленіе и даже разрывъ камней.

Классификація горныхъ породъ.

Всѣ существующія въ настоящее время горныя породы мы можемъ раздѣлить на три большихъ группы (см. Геологія Иностранцева).

1) Простыя горныя породы, 2) сложныя горныя породы, 3) обломочныя горныя породы.

Простыя горныя породы представляютъ кристаллическіе агрегаты одного минерала; сложныя — образованы нѣсколькими минералами, а обломочныя горныя породы состоятъ изъ обломковъ горныхъ породъ и минераловъ.

Простыя горныя породы.

Изъ породъ относящихся къ этой группѣ чаще всего примѣняются въ строительномъ дѣлѣ слѣдующія.

Гипсъ (см. отдѣлъ „Гипсъ“).

Известняки. Известнякъ представляетъ кристаллическіе агрегаты или одного кальцита, или кальцита и аррогонита, часто въ смѣси съ химическими и механическими примѣсями. Къ механическимъ примѣсямъ принадлежатъ глина, песокъ, силикаты извести и магнезін, къ химическимъ углекислыя соли закиси желѣза, магнезія, марганца и т. п. изоморфныя съ углекислою известью. Различаютъ кристаллически зернистый известнякъ или мраморъ, обыкновенный или плотный, известнякъ, пористый известнякъ или туфъ, мѣлъ или землистый известнякъ и доломитовый известнякъ.

Мраморъ. Если углекислая известь, входящая въ составъ горной породы, представляетъ кристаллическое видоизмѣненіе, т. е. если порода состоитъ изъ зеренъ известковаго шпата—кальцита, при чемъ отдѣльные кристаллы непосредственно между собою спаяны безъ всякаго цементирующаго вещества, то подобная порода называется мраморомъ. Мраморы бываютъ различныхъ цвѣтовъ и различной величины зернъ. Наиболѣе цѣнны бѣлые мраморы мелкаго зерна. Различныя примѣси придаютъ мрамору тотъ или другой рисунокъ. Чѣмъ мельче зерна мрамора, тѣмъ лучше онъ полируется и обтесывается. Съ увеличеніемъ въ мраморѣ крупности зерна уменьшается также и ихъ сопротивленіе механическому и химическому вывѣтриванію. Особенно вредно дѣйствуетъ на мраморъ и вообще на известнякъ атмосфера большихъ фабричныхъ городовъ, вслѣдствіе содержанія сѣрнистаго газа, образующагося при горѣніи содержащихъ сѣру каменныхъ углей. Въ настоящее время весьма часто сооруженія изъ мраморовъ для предохраненія отъ вывѣтриванія — подвергаются операци „флюатированія“ (см. ниже). Драгоценнѣйшія свойства мрамора—это способность легко шлифоваться и полироваться. Наибольшую извѣстностью пользуется каррарскій мраморъ, добываемый въ окрестностяхъ города Каррара (Италія). Этотъ мраморъ бѣло-снѣжнаго цвѣта и весьма мелкаго зерна *). Менѣе цѣнны, но болѣе распространены пестрые мраморы. Хорошимъ сортомъ строительнаго мрамора считается флорентійскій мраморъ (баррильо). У насъ въ Россіи мраморы извѣстны во многихъ мѣстахъ, но по своимъ свойствамъ они не принадлежатъ къ скульптурнымъ, но къ строительнымъ сортамъ. Въ Алтайскихъ горахъ и по Иркуту найдены мѣсторожденія бѣлаго мрамора. Строительные сорта мраморовъ встрѣчаются въ Финляндіи, на Уралѣ, въ Сибири и въ Олонецкой губерніи. Для петербургскихъ сооруженій примѣняются главнымъ образомъ финляндскіе мраморы изъ Рускіалы. Рускіальскій мраморъ послужилъ для наружной отдѣлки Исаакіевскаго собора. Финляндскіе мраморы крайне разнообразны и нерѣдко содержатъ очень вредную примѣсь сѣрнаго колчедана. Впрочемъ въ мѣсторожденіяхъ Рускіалы встрѣчаются и очень хорошіе сорта мраморовъ, не уступающіе по своимъ строительнымъ качествамъ флорентійскому мрамору. Прекрасные сорта строительнаго мрамора встрѣчаются и среди „тивдійскихъ“ мраморовъ Олонецкой губерніи у села Вѣлой горы. Для мраморовъ, какъ и вообще для известковыхъ горныхъ породъ требуется сопротивленіе раздавливанію въ кил. на квадратный сантиметръ:

*) Возлѣ Каррары существуетъ около 900 мраморныхъ каменоломенъ и ежегодно свыше 10000 рабочихъ добываютъ около 70000 куб. метр. мрамора, стоимостью въ 10 милліоновъ рублей. Изъ этой массы, впрочемъ лишь 50% представляютъ настоящій, бѣлоснѣжный, статуинный мраморъ; 1 куб. метръ такого мрамора стоитъ до 800 руб.

По французскимъ нормамъ. По Германскимъ нормамъ.

отъ 200—1200 кил. отъ 500—1000 кил.

Въ среднемъ 700—800 килгр. на кв. сант.

Между мраморами различаютъ еще такъ наз. мраморовидные полукристаллическіе известняки, представляющіе собственно переходную ступень отъ настоящихъ мраморовъ къ плотнымъ известнякамъ. Въ нихъ кристаллы углекислой извести раздѣлены болѣе или менѣе аморфнымъ ея видоизмѣненіемъ. Къ подобнымъ полумраморамъ относятся весьма извѣстный въ Петербургѣ эстляндскій или ревельскій мраморъ. По Лямину сопротивленіе его раздавливанію отъ 500 — 700 килгр. на кв. сант.

Обыкновенный или плотный известнякъ состоитъ отчасти также изъ крайне мелкихъ кристаллическихъ зеренъ известкового шпата, но болѣею частью изъ обломковъ известковыхъ раковинъ и панцирей различныхъ организмовъ. Въ зависимости отъ примѣсей различаютъ глинистый известнякъ (примѣсь глины), песчаный известнякъ (примѣсь песку), кремнистый известнякъ (цементировка зеренъ помощью кремневой кислоты), доломитизированный известнякъ (примѣсь доломита). Къ послѣднему виду известняковъ принадлежитъ такъ наз. „путиловская плита“, являющаяся весьма важнымъ строительнымъ матеріаломъ г. С.-Петербурга. Камень этотъ, представляющій собою доломитизированный глинистый известнякъ съ включеніемъ зеленоватыхъ зеренъ глауконита, имѣетъ ясновыраженную слоистость. Примѣненіе путиловской плиты въ качествѣ строительнаго матеріала началось еще съ Петра Великаго („не жаль земли—жаль путиловской горы“—слова Петра Великаго). Этотъ камень разрабатывается у села Путилова и въ другихъ мѣстахъ вблизи канала Петра Великаго. Подобный же камень встрѣчается по рѣкамъ Волхову и Тоснѣ. По опытамъ механической лобараторіи Института инженеровъ путей сообщенія путиловская плита имѣетъ среднее сопротивленіе раздавливанію 937 кил. на кв. сант., Волховская — 1062 кил. на кв. сант., Тосненская — 856 кил. на кв. сант. (Ляминъ). Путиловская плита употребляется на ступени, тротуары, цоколи и карнизы. Тосненская — для бученія фундаментовъ и выжиганія извести. Хорошій строительный матеріалъ представляетъ также севастопольскій известнякъ.

Пористый известнякъ или туфъ. Если подземныя воды (ключи) содержатъ углекислоту, то они растворяютъ въ себѣ болѣе или менѣе значительное количество углекислой извести, которая въ водѣ, не содержащей CO_2 , какъ извѣстно, не растворима. Подобные ключи, выходя на поверхность земли, выдѣляютъ CO_2 , и вслѣдствіе уменьшенія растворимости CaCO_3 , она осаждается, образуя горную породу подъ названіемъ известкового туфа. Въ строительномъ мірѣ весьма извѣстенъ пудожскій туфъ (отъ рѣчки Пудости, Петербургской губерніи) и гатчинскій туфъ. Пористое видоизмѣненіе пудожскаго туфа служить обык-

новенно для садовых украшеній, а плотное видоизмѣненіе — для облицовки стѣнъ (плотнымъ пудожскимъ туфомъ облицованы стѣны и колонны Казанскаго собора). Пудожскій туфъ хорошо противостоитъ атмосфернымъ дѣятелямъ и механическимъ усиліямъ и легко обрабатывается.

Раковистый известнякъ, образованный изъ раковинъ, связанныхъ известковымъ цементомъ, отличается твердостью и значительною сопротивляемостью атмосфернымъ дѣятелямъ. Какъ строительный матеріалъ преимущественно употребляется на югѣ Россіи: въ Одессѣ изъ него построены почти все дома.

Милъ—рыхлый и землистый известнякъ въ качествѣ строительнаго камня не употребляется, но служитъ для полученія жирной извести, для побѣлки и приготовления замазки.

Мергель—смѣсь углекислой извести съ глиною служитъ главнымъ образомъ для приготовленія гидравлической извести и цементовъ.

Сложныя горныя породы.

Сложныя горныя породы являются агрегатами, образованными нѣсколькими минералами. Ихъ иногда подраздѣляютъ на вулканическія и непутическія согласно способу происхожденія. Подобную классификацію нельзя признать удачною, ибо для весьма многихъ горныхъ породъ способы происхожденія еще не доказаны. Мы раздѣлимъ сложныя горныя породы по ихъ строенію на два большихъ отдѣла: на породы массивныя и слоистыя.

Массивныя сложныя породы. Большинство ихъ произошло изъ расплавленныхъ огненно-жидкихъ массъ путемъ охлажденія; эти породы суть продукты вулканической дѣятельности. Къ нимъ относятся граниты, порфиры, сіениты, серпентины и др.

Гранитъ представляетъ собою кристаллически-зернистый агрегатъ полевого шпата (ортоклаза) *) кварца и слюды. Нерѣдко въ составъ гранита входитъ также и роговая обманка. Структура гранита характеризуется тѣмъ, что зерна отдѣльныхъ минераловъ, его составляющихъ, приблизительно равны по своей величинѣ. Отъ цвѣта ортоклаза (полевого шпата) обыкновенно зависитъ и самый цвѣтъ гранита. Кварцъ въ гранитахъ обыкновенно сѣроватаго цвѣта въ видѣ неправильныхъ обломочныхъ зеренъ, съ характерно-раковистымъ изломомъ. Слюда въ гранитахъ или магнезiальная, чернаго цвѣта (біотитъ), либо калиевая—серебристо-бѣлаго цвѣта (мусковитъ). Если въ гранитахъ составляющіе ихъ минеральные элементы рас-

*) Ортоклазъ гранитовъ чаще розовато-бѣлаго, кирпиче-краснаго, иногда сѣраго и рѣдко зеленаго (амазанскій камень) цвѣта.

положены безъ всякой правильности, то подобный гранитъ называется обыкновеннымъ; гнейсо-гранитомъ называется гранитъ, въ которомъ недѣлимые слюды начинаютъ мѣстами принимать положеніе параллельное другъ другу, въ шаровомъ гранитѣ недѣлимые ортоклазы принимаютъ шаровидную форму, въ порфировидномъ гранитѣ крупныя выдѣленія ортоклаза вкраплены въ массу обыкновеннаго гранита. Химическій составъ нѣкоторыхъ сортовъ гранита.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅
1)	67,7	0,50	16,08	5,26	1,65	0,95	5,78	3,22	—	—	—
2)	63,8	—	14,25	0,79	3,61	3,10	4,68	5,97	2,14	1,15	—
3)	72,5	0,66	12,16	4,13	0,03	0,93	слѣды	6,46	2,19	0,70	—
4)	72,2	—	14,88	1,91	1,81	0,22	4,17	3,11	0,56	0,49	—

1) Гранитъ біотитовый изъ Durbach'a (Шварцвальдъ); 2) біотитовый гранитъ съ роговою обманкою изъ Вогезъ; 3) мусковито-біотитовый гранитъ изъ Hautzenberg (Баварскій лѣсъ); 4) раппакивы изъ Пютерлака.

Техническія свойства гранитовъ: удѣльный вѣсъ 2,55—3,02. Твердость 6—7 и 7—8. Водопоглощаемость 0,61 (мелкозернистый гранитъ) — 0,45 (крупнозернистый гранитъ). Коэффициентъ расширенія—0,000026. Сопротивленіе раздавливанію: максимумъ 2700 клгр., минимумъ—500 клгр. Для среднихъ сортовъ гранита сопротивленіе раздавливанію—1300 клгр. Сопротивленіе разрыву около 30 клгр. на кв. см. Достоинство гранита, какъ строительнаго матеріала зависитъ: 1) отъ величины зеренъ минералогическихъ индивидуумовъ (выше цѣнятся сорта съ средними размѣрами зеренъ); 2) отъ химико-минералогическаго состава. Граниты съ значительнымъ содержаніемъ кварца лучше противостоятъ атмосферному вывѣтриванію гранитовъ полево-шпатныхъ; 3) отъ цвѣта и узора послѣ полировки. При процессѣ вывѣтриванія полевои шпаты гранитовъ превращаются въ каолинъ, біотитъ и роговая обманка въ хлоритъ и серпентинъ. Кварцъ не подвергается химическому измѣненію и претерпѣваетъ лишь механическое разрушеніе. Сопротивляемость механическому вывѣтриванію значительно возрастаетъ послѣ шлифовки и полировки. Граниты принадлежатъ къ числу весьма распространенныхъ въ природѣ горныхъ породъ. Они образуютъ центральную массу большинства горъ. По своему распространенію во времени граниты принадлежатъ главнымъ образомъ къ древнѣйшимъ образованіямъ лаврентьевской системы, но встрѣчаются и въ другихъ системахъ отъ силурийской до юрской включительно. Извѣстны граниты Альповъ, Гарца, Тюрингенскаго лѣса, Шварцвальда, Вогезъ. Весьма славятся шведскіе и норвежскіе сорта. Гранитъ съ острова Бернгольма отличается значительною крѣпостью и прочностью. Въ Россіи граниты пользуются также довольно значительнымъ распространеніемъ, главнымъ образомъ по окраинамъ. На югѣ гранитъ распространенъ въ Херсонской, Кіевской и

Волынской губерніяхъ и по побережьямъ Азовскаго моря. Главные мѣста выходовъ гранитовъ сосредоточены по рѣчнымъ долинамъ рѣкъ Днѣпра, Ингула, Буга, Тейса и др. Южные граниты краснаго и сѣраго цвѣта, почти всегда разбиты параллельною системою трещинъ, придающихъ этой породѣ пластообразный характеръ (Иностранцевъ). Сильно распространенъ гранитъ также на Уралѣ, гдѣ онъ, начиная около 59° с. широты тянется почти по всему краю и получаетъ наибольшее развитіе въ южномъ Уралѣ. Цвѣтъ уральскаго гранита желтовато-сѣрый; встрѣчаются и зеленоватые сорта (у д. Шайтанки).

На сѣверѣ Россіи извѣстны граниты финляндскіе (выборгскій, сердобольскій, гангеудскій), олонекіе (повѣнецкій уѣздъ) и архангельскій. Въ Петербургѣ весьма распространенъ выборгскій гранитъ или раппакивъ, главнѣйшія залежи котораго находятся близъ Сенію и Пютерлакса. Этотъ гранитъ имѣетъ крупно-зернистое сложеніе и довольно легко подвергается вывѣтриванію (отсюда и финское названіе „раппакива“, что означаетъ „гнилой камень“). Сопротивленіе раздавливанію не велико: 580 кил. на 1 кв. сант. (Ляминъ). Раппакивъ состоитъ изъ крупныхъ кристалловъ краснаго ортоклаза, окруженнаго зеленою оболочкою олигоклаза, черной слюды и сѣраго кварца. Изъ раппакива въ С.-Петербургѣ сооружены невскія набережныя, Александровская колонна и колонны Исаакіевскаго собора. Сооруженія эти требуютъ постояннаго ремонта. Значительною большею крѣпостью и твердостью отличаются гангеудскій гранитъ (добываемый у города Ганге, Финляндія), сѣрый сердобольскій и красный валаамскій. Гангеудскій гранитъ бываетъ сѣраго, краснаго и темнозеленаго цвѣтовъ. Сопротивленіе его раздавливанію по опытамъ механической лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія для храма Воскресенія (Ляминъ): сѣрый гранитъ 1184 клгр. на кв. сант., красный 1481 клгр. на кв. сант. Сѣрый сердобольскій гранитъ *) отличается весьма мелкимъ и однороднымъ зерномъ и вслѣдствіе этого значительнымъ сопротивленіемъ вывѣтриванію и механическимъ усиліямъ: мелко-зернистый 1767 клгр. на кв. сант., средне-зернистый 1062 клгр. на кв. сант.

Валаамскій гранитъ, краснаго цвѣта, добывается изъ каменоломень острова Св. Германа на Ладожскомъ озерѣ. Онъ мелко зернистъ и весьма проченъ и крѣпокъ. По опытамъ механической лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія сопротивленіе раздавливанію валаамскаго гранита равно 2200 клгр. на кв. сант. и болѣе (Ляминъ). Этотъ гранитъ начинаетъ въ послѣднее время распространяться въ сооруженіяхъ С.-Петербурга (быки Троицкаго моста, пьедесталы для памятника Императору Александру III).

*) Изъ сердобольскаго гранита сдѣланы каріатиды Императорскаго армя-

Примѣненіе гранита въ строительномъ дѣлѣ довольно значительно. Изъ него часто устраиваютъ подножія памятниковъ, а если онъ мелкозернистъ и однороденъ, какъ сердобольскій, то и самыя статуи. Гранитъ является превосходнымъ матеріаломъ для устройства фундаментовъ, цоколя, лѣстничныхъ ступеней, мостовыхъ быковъ и т. п., для мощенія улицъ, обшивки стѣнъ и карнизовъ; для колоннъ, надгробныхъ памятниковъ и пр.

Сіенитъ. Можно сказать, что сіенитъ — гранитъ, не содержащій кварца. Какъ и гранитъ, сіенитъ типичный кристаллическій зернистый агрегатъ, въ которомъ главную массу образуетъ красноватый или бѣловатый ортоклазъ. Въ этой массѣ разсѣяна въ видѣ короткихъ призмъ темно-зеленая или черная роговая обманка. Слюда обыкновенно содержится въ видѣ біотита, темно-бурого или зеленовато-чернаго цвѣта. Удѣльный вѣсъ 2,7—2,9. Химическій составъ сіенита изъ Плауэна.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
59,83	—	16,85	—	7,01	2,61	4,43	2,44	6,57	1,29

Твердость сіенита 7—8. Сопротивленіе раздавливанію 1300—1400 клгр. (максимумъ 1880 клгр.). Очень устойчивъ по отношенію къ механическому вывѣтриванію. Подобно граниту шлифуется и полируется. Примѣняется для тѣхъ же цѣлей, какъ и гранитъ. Сіениты принадлежатъ къ массивнымъ породамъ и встрѣчаются въ древнѣйшихъ геологическихъ образованіяхъ. Въ Россіи сіениты встрѣчаются въ Финляндіи, на Кавказѣ, Уралѣ и Сибири. Микрофот. снимокъ сіенита см. фиг.

Порфиръ. *Кварцевый или фельзитовый порфиръ* состоитъ изъ фальзитовой основной массы, въ которой порфировидно вкраплены кристаллы и зерна ортоклаза и кварца, иногда и слюды. Основная масса наичаще красновато-бурого цвѣта; вкрапленный ортоклазъ бѣлаго, желтоватаго или красноватаго цвѣта. Химическій составъ порфира изъ Красноводска.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
75,14	14,33	3,00	0,20	1,52	3,46	—	2,26

Удѣльный вѣсъ 1,55 — 2,793. Сопротивленіе раздавливанію 1300 клгр. на кв. сант. На воздухѣ измѣняется весьма мало. У насъ кварцевый порфиръ встрѣчается на Кавказѣ и на Алтаѣ.

Ортоклазовый порфиръ. Основная масса весьма мелкозерниста и состоитъ изъ полевого шпата буроватаго или темно-зеленоватаго цвѣта. Въ основной массѣ вкраплены крупныя кристаллы ортоклаза. Встрѣчается въ западной Европѣ, а въ Россіи на островѣ Гохландѣ и Алтаѣ. Сопротивленіе раздавливанію гохлаандскаго порфира отъ 700 до 1700 клгр. на кв. сант. (Ляминъ). Примѣненія порфировъ тѣ же, что и гранита.

Серпентинъ или змѣвики. Основная порода тонко-зернистая, чаще зеленого, рѣже бурого цвѣта, обыкновенно испещрена полосками

болѣе темнаго цвѣта (сходство рисунка съ кожей змѣи). Состоитъ изъ минерала серпентина съ примѣсями оливина, хрисотида, магнитнаго и хромистаго желѣзняка и т. д. У насъ серпентины часто встрѣчаются на Уралѣ. Химическій составъ серпентина съ Амосовой горы (Уралъ).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	K_2O
39,00	1,65	3,73	6,53	37,39	0,87	11,04

Удѣльный вѣсъ серпентина 2,5 — 2,9. Твердость 3—4. Сопротивленіе раздавливанію 840 клгр. Весьма устойчивъ относительно атмосферныхъ дѣятелей. Настоящій серпентинъ примѣняется для скульптурныхъ и орнаментныхъ издѣлій, менѣе чистый для колоннъ, облицовки стѣнъ, столовыхъ досокъ, ступеней и т. д.

Слоистыя сложныя породы. Гнейсъ. По минералогическому составу гнейсъ тождествененъ съ гранитомъ, то есть является агрегатомъ ортоклаза (отчасти и плагиоклаза), кварца и слюды. Но отличительнымъ признакомъ гнейса является его слоистость, обусловленная взаимно параллельнымъ положеніемъ чешуйчатыхъ листочковъ слюды. Различаютъ красный и сѣрый гнейсъ. Ортоклазъ въ гнейсѣ мясо краснаго или сѣраго цвѣта, кварцъ—иногда дымчатаго цвѣта, иногда безцвѣтенъ; слюда встрѣчается какъ бѣлая, такъ и черная, причѣмъ оба эти вида иногда входятъ въ составъ одной и той же породы. Гнейсъ принадлежитъ къ древнѣйшимъ лаврентьевскимъ образованіямъ и развитъ въ Богеміи, центральныхъ Альпахъ, Скандинавіи, въ Рудныхъ горахъ, Шотландіи, въ Канадѣ, С. Шт. Сѣв. Америки и въ другихъ мѣстахъ. Въ Россіи гнейсъ извѣстенъ въ Днѣпровской полосѣ, на Уралѣ, Восточной Сибири; въ Финляндіи, въ губерніяхъ Архангельской и Олонецкой и на Кольскомъ полуостровѣ. Химическій составъ гнейса:

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O
I.	68,03	1,33	15,17	1,15	3,17	1,31	1,86	4,23	2,92
II.	75,74	—	13,25	—	1,84	0,39	0,60	4,86	2,12

1) Сѣрый гнейсъ изъ Фрейберга, 2) красный гнейсъ изъ Фрейберга. Удѣльный вѣсъ гнейса 2,2—2,9. Твердость—гранита. Сопротивленіе раздавливанію около 1700 кгр. Сопротивленіе вывѣтриванію богатаго кварцемъ соответствуетъ граниту, сопротивленіе гнейса съ большимъ содержаніемъ слюды и желѣза—весьма незначительно. Вслѣдствіе слоистаго сложенія легко раскалывается на отдѣльныя плиты, которыя идутъ на троттуары, покрытіе крышъ, облицовку стѣнъ, ступени и т. д. Гнейсъ часто употребляется также и для мощенія шоссе. Плохо полируется и вообще по строительнымъ качествамъ стоитъ ниже гранита.

Слюдяной сланецъ есть агрегатъ слюды и кварца, въ которомъ листочки слюды лежатъ параллельно другъ другу, чѣмъ и обуславливается сланцеватость породы. Встрѣчается во многихъ мѣстно-

стяхъ Западной Европы: въ Альпахъ, Баваріи, Скандинавіи, Рудныхъ горахъ. У насъ, въ Россіи въ Финляндіи, на Уралѣ и Алтаѣ, въ губерніяхъ Олонецкой и Архангельской. Химическій составъ (съ острова Гюхланда).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
55,61	17,67	11,98	4,60	2,27	1,60	3,10	2,27.

Удѣльный в. 2,73; сопротивленіе раздавливанію 910 кгр. Если сланецъ богатъ кварцемъ, сопротивленіе его атмосфернымъ дѣятелямъ удовлетворительно. Слюдяной сланецъ легко раскалывается на отдѣльныя пластины и весьма огнеупоренъ, почему и примѣняется для внутренней футеровки металлургическихъ и иныхъ печей. Въ строительномъ дѣлѣ служить для мощенія улицъ, для устройства троттуаровъ, для покрытія крышъ, оконныхъ наличниковъ и т. д.

Обломочныя породы.

Проф. Иностранцевъ *) раздѣляетъ обломочныя породы, т. происшедшія изъ вторичнаго отложенія обломковъ и частицъ механически измельченныхъ, вывѣтрившихся и разрушившихся болѣе древнихъ горныхъ породъ на слѣдующія группы: рыхлыя, цементированныя, глинистыя породы и туфы.

Рыхлыя породы. Къ рыхлымъ породамъ принадлежатъ песокъ, гравій, щебень, гальки, валуны. *Песокъ* состоитъ изъ отдѣльных нецементированныхъ зеренъ обыкновенно кварца, но иногда также полевого шпата, роговой обманки, чешуекъ слюды и даже зеренъ углекислой извести. Пески различаютъ по формѣ зеренъ и по ихъ крупности. *Валуны*—продукты дѣятельности ледниковъ—суть обломки горныхъ породъ, слегка закругленные, иногда достигающіе громаднхъ размѣровъ. *Гальки*—округленные, окатанные водою обломки горныхъ породъ, величиною до куриного яйца. *Щебень*—скопленія обломковъ горныхъ породъ, угловатой или округленной формы. О пескѣ было уже достаточно сообщено въ отдѣлахъ искусственныхъ строительныхъ камней и строительныхъ растворахъ. Все это были продукты механическаго измельченія водою. Въ природѣ встрѣчаются и рыхлые продукты вулканическихъ изверженій. Сюда относятся вулканическій песокъ, пемзовый песокъ и т. п.

Пемзовый песокъ—сѣровато-бѣлая пористая масса, состоящая изъ скопленій болѣе или менѣе крупныхъ кусковъ пемзы. Встрѣчается въ Германіи возлѣ потухшихъ вулкановъ Лаахерскаго озера, у Марбурга и Гиссена. Вслѣдствіе пористости и малаго вѣса служить для приго-

*) См. Общій курсъ Геологіи проф. Иностранцева.

товленія маловѣсныхъ кирпичей (съ известью) изоляціонныхъ плитъ п т. п. 1 куб. метръ пемзы вѣситъ всего 500—800 кгр.

Инфузорная земля (кизельгуръ)—рыхлая масса, состоящая главнымъ образомъ изъ остатковъ кремневыхъ панцирей діатомовыхъ инфузорій. Главная составная часть—кремневая кислота, точнѣе ея растворимая модификація. Встрѣчается въ Богеміи, въ Венгріи, въ Норвегіи, Сѣверн. Америкѣ; въ Lüneburger'ѣ; у насъ въ Россіи. Инфузорная земля есть матеріалъ весьма огнеупорный, обладающій плохую проводимостью тепла и незначительнымъ удѣльнымъ вѣсомъ (0,25—0,4). 1 кгр. кизельгура поглощаетъ 4 клгр. воды. Употребляется инфузорная земля для изготовленія весьма легкихъ строительныхъ камней (плавающихъ на поверхности воды), въ качествѣ изолирующаго матеріала, для приготовленія растворимаго стекла, замазокъ для камней, въ качествѣ отощающаго средства для глины, матеріала для водяныхъ фильтровъ, для приготовленія динамита и, наконецъ, какъ полирующее средство.

Глинистыя породы (см. отдѣлъ искусственныхъ строительныхъ камней).

Цементныя породы. Песчаники. Если песчинки или гальки будутъ связаны цементомъ, то образуются песчаники или конгломераты. Песчаникъ состоитъ изъ зеренъ кварца, соединенныхъ между собою какимъ-либо вяжущимъ веществомъ. Цементъ песчаниковъ крайне разнообразенъ, и отъ его состава зависятъ свойства песчаника (цвѣтъ, твердость и прочность) и его нагрѣваніе. Различаютъ песчаники кремнекислые, известковые, глинистые (сѣраго цвѣта), желѣзистыя (желто-бураго цвѣта), битуминозныя (темносѣраго цвѣта), глауканитовыя (зеленаго цвѣта). Для глинистаго песчаника цементомъ служитъ глина, для известковаго—углекислая известь, для желѣзистаго—окись желѣза или гидратъ ея, вмѣстѣ съ глиною и известью; для кремнистаго—кремневая кислота. Значительною крѣпостью и твердостью отличаются кремнистые песчаники. Известковые песчаники легко разрушаются дѣйствіемъ соляной кислоты и сѣрнистаго ангидрида, а потому и не должны быть употребляемы для построекъ въ фабричныхъ центрахъ (дымовые газы по сжиганію каменнаго угля всегда содержатъ нѣкоторые количества сѣрнистаго ангидрида. Удѣльный вѣсъ песчаниковъ—2,4—2,7. Сопротивленіе раздавливанію сильно варьируетъ: отъ 175 до 1800 кгр. на кв. см. Въ Петербургѣ примѣняютъ часто для разнаго рода сооружений заграничныя песчаники, оденвальдскіе, майнцкіе и др., а также радомскіе песчаники. Радомскіе песчаники содержатъ цементирующимъ веществомъ или углекислую известь (шидловецкій камень) или глину (кутовскій камень). Сопротивленіе раздавливанію радомскихъ песчаниковъ отъ 600 до 1000 килогр. Эти песчаники послужили для облицовки многихъ монументальныхъ зданій С.-Петербурга. Очень твердые, кремнистые песчаники средней Россіи идутъ на жернова.

Кварцитъ отличается отъ песчаниковъ по структурѣ тѣмъ же, чѣмъ мраморы отъ плотныхъ известняковъ. Они состоятъ исключительно изъ зеренъ кварца, плотно связанныхъ кварцевымъ цементомъ. Значительныя мѣсторожденія кварцита находятся въ Олонецкой губерніи. Эти кварциты доставляютъ строительный матеріалъ весьма высокаго качества и часто примѣняются въ строительной практикѣ С.-Петербурга. Цвѣтъ олонецкаго кварцита зеленовато-сѣрый (каменносборскій), свѣтло-зеленый (брусенскій). Но особенно цѣнными строительными качествами и красивымъ краснымъ цвѣтомъ отличается т. н. „шоханъ“ или шокшинскій кварцитъ (отъ станціи Шокшинской на берегу Онежскаго озера). Этотъ кварцитъ, состоящій изъ зеренъ кварца, равномерно окруженныхъ красящимъ веществомъ солей окиси желѣза, прекрасно обрабатывается, полируется, крайне крѣпокъ и проченъ. Изъ шокшинскаго камня построенъ пьедесталъ памятника императора Николая I, въ С.-Петербургѣ, саркофагъ Наполеону I въ домѣ инвалидов въ Парижѣ, и значительныя его массы пошли на облицовку внутреннихъ стѣнъ храма Спасителя въ Москвѣ.

Если въ составъ песчаника входятъ болѣе крупныя обломки, то онъ называется „конгломератомъ“. „Брекчіи“ состоятъ изъ угловатыхъ, острыхъ обломковъ какого-нибудь минерала или горной породы, плотно связанныхъ цементомъ. Въ природѣ встрѣчаются сорта брекчій и конгломератовъ вполне пригодныхъ служить въ качествѣ строительныхъ камней. При хорошей окраскѣ служатъ также для орнаментныхъ цѣлей. Бетонъ можно разсматривать, какъ искусственную брекчію.

Добываніе камней.

Способы добыванія камней различны въ зависимости отъ глубины залеганія породы отъ поверхности земли. Если порода залегаетъ вблизи земной поверхности, то, снявъ верхній слой наносной земли, добываютъ камни путемъ открытой разработки. При залеганіи породы на значительной глубинѣ, приходится задавать шахты, проводить штольни и вообще прибѣгать къ обычнымъ приѣмамъ правильной горной разработки. Обыкновенно достоинство горной породы возрастаетъ съ глубиною залеганія и съ мощностью пласта наносной земли, но зато и добыча помощью подземныхъ камнеломовъ обходится значительно дороже открытой разработки. Развѣдку каменной породы, опредѣленіе мощности пласта и т. д. производятъ открытыми траншеями, шурфами,—если порода залегаетъ не глубоко отъ поверхности земли, въ противномъ случаѣ развѣдку ведутъ при помощи буренія. Для удаленія рыхлой, наносной земли употребляютъ различнаго рода лопаты (ф. 284—286). Глину и вообще нетвердыя породы разрыхляютъ при помощи кирки, изображенной на ф. 287—288. Вывѣтрившуюся породу разрыхляютъ помощью кирки, изображенной на ф. 289.

Выломка слоистыхъ породъ. Прежде всего снимаютъ верхній, наносный слой земли, затѣмъ вывѣтрившіеся верхніе слои породы, которые обыкновенно по снятіи рассыпаются на мелкіе куски. Ломку собственно породы ведутъ уступами при помощи слѣдующихъ инструментовъ: кулака (большой тяжелый желѣзный молотъ (фиг. 290) и различныхъ ломовъ (ф. 291). Для болѣе твердыхъ породъ употребляютъ обыкновенный остроконечный ломъ, а для болѣе мягкихъ породъ ломъ дѣлается съ плоскимъ концомъ (ф. 292). На обнаженной поверхности камня вычерчиваютъ фигуру поперечнаго сѣченія, напр. будущей плиты, и затѣмъ при помощи кирки протесываютъ по контуру дорожку желаемой глубины, послѣ чего отдѣляютъ камень отъ остальной породы помощью лома, запустивъ его конецъ въ прослоекъ, подложивъ подъ ломъ камень, дѣйствуютъ имъ какъ рычагомъ перваго рода. Иногда (если камень великъ) вставляютъ въ протесанные между слоями камня пазы желѣзные клинья и ударомъ кулака по послѣднимъ производятъ отдѣленіе камней.

Выломка сплошныхъ породъ затруднительнѣе по отсутствію правильной слоеватости и трещинъ. При породахъ съ весьма значительною силою сдѣленія, отдѣльныхъ частицъ, которыя при порохо-стрѣльныхъ работахъ обыкновенно разлетаются въ небольшіе куски и введенію твердыхъ и острыхъ инструментовъ представляютъ солидное противодѣйствіе (твердый гранитъ, кварцъ, базальтъ) иногда рекомендуется прибѣгнуть къ методу „накаливанія“. Поверхность камня накаливается и затѣмъ подвергается или внезапному охлажденію (холодной водою) или усиленнымъ ударами молота. Если растрескиваніе камня должно идти по опредѣленной линіи, то послѣ накаливанія камня натягиваютъ по линіи отдѣленія мокрый шнуръ. При выломкѣ камня путемъ порохо-стрѣльной работы съ двухъ или трехъ сторонъ камня протесываютъ глубокія борозды ссс ударами кайла или желнъ (см. фиг. 293), а внизу по линіи отдѣленія просверливаютъ рядъ буровыхъ скважинъ (шнуровъ) ааа до 3 сантим. и болѣе въ діаметрѣ. Длина шнура аb должна быть по крайней мѣрѣ вдвое болѣе линіи наименьшаго сопротивленія b d. На ф. 294—297 показанъ цѣлый рядъ сверлъ, примѣняемыхъ для образованія буровыхъ скважинъ. Это желѣзныя, діаметромъ отъ 1 до 2½ дюйм. и длиною не болѣе 1 сажени штанги съ наваренными стальными концами. Форма концовъ находится въ зависимости отъ степени твердости каменной породы: для мягкихъ породъ—форму долота, для твердыхъ—форму пирамидки съ входящими углами (фиг. 298). Для самыхъ твердыхъ породъ примѣняютъ т. н. коронныя сверла. (ф. 299). При буреніи одинъ рабочій держитъ буръ, обернувъ его пенькой у отверстіе шнура, а другой ударяетъ по другому его концу кувалдою (тяжелымъ молотомъ въ 8—12 ф.), причемъ передъ каждымъ ударомъ буръ поворачивается на нѣкоторую часть окружности для полученія скважинъ правильной цилиндрической формы. Чтобы сталь не могла „отжигаться“, нагрѣваясь ударами о ка-

мень, въ скважину наливается вода и образовавшееся тѣсто (вода съ измельченною породою) извлекается затѣмъ т. н. ложками. При большихъ работахъ примѣняютъ машинныя сверла. Различаютъ машинныя сверла, работающія быстрымъ вращеніемъ и работающія ударами, подражая ручному сверленію. Сверла, работающія вращеніемъ, представляютъ собою полый цилиндръ. На рабочемъ концѣ сверла иногда укрѣпляютъ алмазы, или же онъ дѣлается зубчатымъ изъ стали. Сверло второго рода представляетъ собою сверло непосредственно соединенное съ паровымъ цилиндромъ, устанавливаемымъ на треножникѣ. Паръ приводится по рукаву отъ локомотива. Когда скважина готова, ее протираютъ на сухо паклей, надѣтой на конецъ палки и затѣмъ на дно скважины помещаютъ нѣкоторое количество сухой глины (подбой). Теперь въ сухую скважину насыпаютъ порохъ или же опускаютъ въ бумажной гильзѣ (картузѣ). Если нѣтъ возможности предварительно осушить скважину, то порохъ вводится въ жестяныхъ или резиновыхъ гильзахъ. Когда зарядъ введенъ, его забиваютъ глиною, пескомъ, или кирпичнымъ порошокомъ. При забивкѣ глиною на зарядъ предварительно кладутъ пыжъ, прокалываютъ его и картузъ мѣднымъ *) пруткомъ (протравникомъ), который и остается въ шнурѣ во время забойки. Забивъ шнуръ вынимаютъ протравникъ и вкладываютъ фитиль. Простѣйшій фитиль—это толстая соломина, наполненная пороховою мякотью. „Бикфордъ фитиль“—состоитъ изъ начиненной пороховою мякотью гуттаперчевой трубки. При немъ употребляютъ песочную забивку. Длина шнура, разумѣется, должна быть такова, чтобы рабочіе успѣли отойти отъ мѣста взрыва. Часто воспламеняютъ зарядъ также электрической искрой, закладывая одновременно съ набойкою проводникъ отъ батареи. Иногда производятъ забойку также водою или воздухомъ. При забивкѣ водою порохъ заключаютъ въ резиновыя гильзы и заполняютъ шнуръ водою. При подобныхъ взрывахъ, иной забойки, разумѣется, и не требуется. При забивкѣ воздухомъ на зарядъ кладутъ пыжъ, а воздухъ, находящійся въ шнурѣ сжимаютъ, заколачивая наружное отверстіе деревянною, смоченною водою пробкою. По Эвальду на отдѣленіе 1 куб. саж. краснаго финляндскаго гранита расходуется среднимъ числомъ, около 4 фунтовъ пороха, для сердобольскаго и болѣе твердыхъ породъ—на 10% болѣе, вообще же около 0,0001 по вѣсу отдѣляемаго камня (см. В. Эвальдъ, „Строительные матеріалы“). Въмѣсто обыкновеннаго пороха (механическая смѣсь угля, селитры и сѣры) употребляютъ часто и другія, изобрѣтенныя въ сравнительно недавнее время взрывчатые вещества, напр. препараты нитро-глицерина, пироксилина, литотрита, хлопчатобумажный порохъ, бѣлый горный порохъ, **) угольный порошокъ, смоченный жид-

*) Желѣзный можетъ при ударѣ объ камень дать искру.

**) Бертолетова соль обработанная нитробензоломъ.

кимъ воздухомъ и др. Нитроглицеринъ—маслянистая жидкость, желтоватаго цвѣта, (въ чистомъ видѣ безцвѣтная) получаемая при дѣйствіи азотной кислоты на глицеринъ. Составъ нитроглицерина: $C_3H_5(NO_2O)_3$. При зарядахъ его помѣщаютъ въ стеклянные или жестяные картузы. Взрывчатая сила нитроглицерина превосходитъ силу пороха при одинаковомъ объемѣ въ 9 разъ, а при одинаковомъ вѣсѣ въ 6 разъ. Слѣдуетъ замѣтить, что какъ препараты нитроглицерина, такъ и другіе новѣйшія взрывчатые вещества взрываются отъ удара. При работахъ съ нитроглицериномъ зимою не слѣдуетъ забывать, во избѣжаніе катастрофы, что онъ, будучи замороженъ, не взрываетъ. Болѣе удобенъ въ примѣненіи (менѣе чувствителенъ къ ударамъ, не столь мгновенно взрываетъ) т. н. динамитъ,—тѣстообразная, жирная на ощупь масса сѣровато-бураго цвѣта, состоящая изъ 25% инфузورной земли, пропитанной 75% нитроглицерина. Это т. н. динамитъ Nobel'a № 1; въ №№ 2, 3, 4 содержится менѣе нитроглицерина, который замѣщается древесною массою, пропитанною селитрою. При храненіи динамита необходимо слѣдить, чтобы онъ не нагрѣвался выше 60° (начало разложенія нитроглицерина). Для отдѣленія камней отъ породы иногда пользуются также разрывающимъ дѣйствіемъ воды при ея замерзаніи. Вода, наполняющая скважины или трещины въ камняхъ, при превращеніи въ ледъ увеличивается въ объемѣ (на $\frac{1}{11}$), производя при этомъ механическую работу въ 33,68 киллограмметровъ (по Braun'у). Иногда при разрывѣ камней пользуются также свойствомъ ѣдкой извести при смачиваніи водою (гапшеніи) сильно увеличиваться въ объемѣ. Жженую известь прессуютъ подъ сильнымъ давленіемъ въ цилиндрики, которые затѣмъ помѣщаются въ полотняныя гильзы. Помѣстивъ гильзы съ известью въ скважины, дѣлаютъ забойку изъ глины. Вода проводится къ заряду при помощи узкой желѣзной трубки, одинъ конецъ которой снабженный многочисленными отверстіями входитъ въ известь а другой, выходящій наружу изъ буровой скважины, соединенъ рукавомъ съ насосомъ. Способъ этотъ экономиченъ, безопасенъ и позволяетъ производить работы въ любое время года.

Послѣ отдѣленія камня отъ породы обыкновенно исправляютъ его форму, сбивая кувалдами наиболѣе выдающіяся части и т. д. Мягкіе породы: туфы, мраморы, иногда песчаники, часто распиливаютъ при помощи особыхъ пилъ, ручныхъ и машинныхъ на отдѣльныя доски. Формировка камней путемъ распиливанія сопровождается наименьшею потерю матеріала, а потому способъ этотъ особенно пригоденъ для дорогихъ породъ. Ручная пила вполнѣ схожа съ обыкновенною столлярною, т. е. состоитъ изъ стальной полосы, натянутой на лучокъ. Разумѣется она дѣлается гораздо большихъ размѣровъ: Для твердыхъ породъ употребляется гладкая пила, безъ зубцовъ; для мягкихъ (напр. туфа)—съ зубцами. Во время распиливанія подъ пилу подсыпается наждакъ или кварцевый песокъ. Для очень твердыхъ породъ употребляютъ наждакъ, для мягкихъ вмѣсто песку бе-

руть часто также стеклянный порошок. Машинныя пилы раздѣляются на прямыя, круглыя и проволочныя (полоса замѣнена безконечною проволокою, движущаяся на шкивахъ). Иногда лезвіе машинныхъ пилъ снабжаются также алмазными осколками, укрѣпленными на лезвіи при помощи особыхъ оправъ.

Обдѣлка камней.

Для обдѣлки камней, т. е. для сообщенія имъ формы и внѣшней поверхности требуемыхъ для даннаго примѣненія въ строительномъ дѣлѣ, ихъ подвергаютъ послѣдовательно слѣдующимъ операціямъ: *обтеску*, *шлифовку* и *полировку*. Помощью обтески камню придается желаемая форма, операція шлифовки служитъ для уничтоженія слѣдовъ инструментовъ, производившихъ обтеску, для приданія камню гладкой поверхности; наконецъ послѣ полировки камень пріобрѣтаетъ глянecъ, зеркальную поверхность.

Обтеска камней. По степени тщательности работы различаютъ *грубую*, *получистую* и *чистую* обтеску, производимыя послѣдовательно.

Грубая обтеска состоитъ въ томъ, что съ камня скалываютъ сильно выдающіяся неровности, вообще всѣ лишнія части, сообразно той формѣ, которую онъ долженъ имѣть въ постройкѣ. Для этой работы примѣняютъ слѣдующіе инструменты: 1) тесовикъ (фиг. 300 вѣсомъ отъ 6 до 10 фунтовъ, (для удаленія сильно выдающихся неровностей), 2) долото (ф. 301—302) и кіанку (фиг. 303). По слѣдніе два инструмента служатъ для снятія кромки и угловъ. Употребленіе тесовика состоитъ въ томъ, что рабочій взявъ его за рукоятку ударяетъ имъ съ размаха по выдающимся частямъ камня и отдѣляетъ ихъ. При дѣйствіи долотомъ и кіанкою, рабочій держитъ долото въ лѣвой рукѣ и прикладывая его къ неровностямъ кромки, ударяетъ по нему кіанкою. Для гранита и т. п. твердыхъ породъ служитъ остроконечное долото (ф. 301) для известняковъ и т. п. — плоское долото (ф. 302). Эти инструменты, равно какъ и ниже слѣдующіе, дѣлаются желѣзными съ наваренными сталью концами. Для рукоятокъ требуется вязкое дерево, напр. рябина.

Получистая теска. Послѣ этой операціи поверхность камня получаетъ видъ плоскости, покрытой бороздками.

Чистая теска или ковка служитъ для удаленія бороздокъ съ поверхности камней. Послѣ этой операціи получаютъ поверхности съ едва замѣтными на глазъ рельефами и углубленіями. Для двухъ послѣднихъ тесокъ примѣняютъ родъ тесовика—кіуръ (ф. 304), вѣсомъ 2—5 ф. и долота. Для относительно мягкихъ породъ (известнякъ, путиловская плита и т. д.) часто употребляютъ и т. н. кирку (ф. 305).

Для тески углубленій или входящихъ угловъ примѣняютъ широкое, плоское долото, наз. *скарпелью* (ф. 306). Для приданія камню матовой поверхности часто при обработкѣ мрамора и лабрадора, пользуются зубчатою киркою (зубчатка см. ф. 307), и кіуromъ съ насѣчками (см. ф. 308).

Правило. Для обработки хрупкихъ и мягкихъ породъ не слѣдуетъ пользоваться тяжелыми инструментами, такъ какъ при этомъ могутъ получиться незамѣтныя на глазъ трещины, уменьшающія сопротивляемость камня какъ механическимъ усиліямъ, такъ и механическому вывѣтриванію (дѣйствию мороза).

Примѣръ. Для примѣра я опишу обтеску камня: 1) имѣющаго видъ правильнаго параллелепипеда, 2) съ цилиндрическою и 3) съ коническою поверхностями.

Обтеска параллелепипеда. Прежде всего каменотесъ проводить на поверхности камня вдоль одной кромки черту *ab* (см. ф. 309) при помощи деревянной линейки-правила (обтеска подъ правило). Затѣмъ при помощи тесовика вытесываютъ по этой чертѣ бороздку, шириною и глубиною около 1 дюйма. Необходимо, чтобы дно дорожки было нѣсколько ниже самыхъ большихъ углубленій на камнѣ и кромѣ того должно быть горизонтально. Послѣднее условіе проверяется, укладывая правило на ребро, и наблюдая, нѣтъ ли подъ нимъ просвѣта. Послѣ этого вытесываютъ другую, такую же бороздку на противоположномъ ребрѣ (*cd*). Дно обѣихъ дорожекъ должно лежать въ одной плоскости. Это проверяется посредствомъ правилъ положенныхъ плашмя, какъ показано на фиг. 310. (Смотрять черезъ верхъ одного правила). Теперь остается снять выдающуюся часть камня и сбить всѣ неровности верхней грани, проверяя работу правиломъ. Несмотря на всю тщательность работы, поверхность камня не получается гладкою, но съ мелкими бороздками. Для удаленія послѣднихъ камень проковываютъ. *Ковка* состоитъ въ томъ, что нѣсколько разъ проходятъ кіурою такъ, чтобы слѣды ударовъ были перпендикулярны къ слѣдамъ предыдущей тески. Послѣ этой операціи поверхность камня дѣлается сравнительно гладкою (кованный камень). Углы при тескѣ проверяются деревянными (см. ф. 311) или металлическими (ф. 312) наугольниками, называемыми малками.

Обтеска цилиндровъ (см. фиг. 313). Сначала обтесываютъ двѣ противоположныя стороны камня *ABCD* и *EFGH* которыя должны соответствовать основаніямъ цилиндра и вычерчиваютъ на нихъ по шаблонамъ круги, діаметръ которыхъ соответствуетъ діаметру изготовляемаго цилиндра. Эти круги дѣлятъ на одинаковое число равныхъ частей и соответствующія точки соединяють затѣмъ дорожками *aa'* *bb'*. Теперь остается сбить тѣ части камня, которыя остались между дорожками.

При обтескѣ конусовъ и пирамидъ сперва обтесываютъ основаніе, которое затѣмъ по предыдущему соединяется съ вершиною

дорожками. Теска камня въ видѣ *руста* или *сухаря* состоитъ въ томъ, что средину камня оставляютъ въ грубо-обтесанномъ видѣ и тщательно обдѣлываютъ лишь его кромки. Наконецъ, когда изъ камня долженъ быть вытесанъ предметъ, ограниченный поверхностями различнаго вида, прибѣгаютъ также къ помощи такъ наз. шаблоновъ, т. е. деревянныхъ или металлическихъ досокъ, вырѣзанныхъ соответственно наружной формѣ предмета.

Машинная обтеска камней. Кромѣ ручной обдѣлки камней различаютъ еще обтеску при помощи специальныхъ *камнетесныхъ машинъ*. Различаютъ слѣдующіе главные типы камнетесныхъ машинъ. 1) Дѣйствующія ударами соответствующихъ инструментовъ на поверхности камней (машины, подражающія дѣйствіямъ долота и кирки). На фиг. 314 изображена камнетесная машина Girwood'a съ долотомъ м. 2) Дѣйствующія фрезерами или шарошками, т. е. рѣжущими инструментами въ видѣ тарелочекъ съ острыми краями. Сюда принадлежитъ камнетесная машина Mostodon ston dresser „Arderon'a“. 3) Дѣйствующія фрезерами съ катящимися дисками. Сюда относится машина Brunton und Trier (London) изображенная на фиг. 315. Здѣсь ж, наклонные подъ извѣстными углами диски изъ закаленного чугуна, приводятся въ движеніе конической зубчатою передачею zz со скоростью 900—1050 оборотовъ въ минуту. Вращающіеся диски дѣйствуютъ подобно клину и такъ какъ въ этой конструкціи избѣгнуты удары, то рѣжущій инструментъ не такъ быстро изнашивается. 4) Камнетески на подобіе станковъ для строганія желѣза (строгальныя станки). 5) Алмазные камнетески (алмазы укрѣплены на быстро вращающихся барабанахъ).

Шлифовка. Для удаленія бороздокъ, оставшихся на поверхности камня послѣ предыдущей операціи обтески, его подвергаютъ шлифовкѣ. При шлифовкѣ поверхность камня натирается другимъ камнемъ, болѣе твердымъ чѣмъ шлифуемый, часто совмѣстно съ порошкообразными веществами, частицы которыхъ имѣютъ острые углы и также болѣе тверды, нежели шлифуемый камень. Для шлифованія чаще всего примѣняютъ песчаникъ (съ мелкими, остроугольными, однообразными частицами, скрѣпленными не очень крѣпкими цементами) кварцевый песокъ, кремнистый сланецъ и для окончанія шлифованія—пемзу и наждакъ. Шлифованіе нужно начинать болѣе грубымъ шлифующимъ матеріаломъ и кончать болѣе нѣжнымъ, мелкозернистымъ. Различаютъ ручную и машинную шлифовку. При ручной шлифовкѣ (см. фиг. 316) призматическій кусокъ песчаника заклиниваютъ въ деревянную рукоятку и натираютъ имъ поверхность шлифуемаго камня, предварительно посыпаннаго мелкимъ кварцевымъ пескомъ или инымъ матеріаломъ. Для удаленія песчаной пыли и охлажденія поверхность камня во время шлифованія смачивается водою. При машинной полировкѣ употребляютъ аппараты, сходные съ шлифовальнымъ кругомъ Баушингера. Когда послѣ шлифовки руки уже не въ состояніи обнаружить на поверхности камня

шероховатости, очищаютъ его отъ пыли и заполняютъ имѣющіеся въ немъ поры мастикою (обыкновенно смѣсь гарпіуса или стеарина съ скипидаромъ и съ какимъ-либо красящимъ веществомъ подъ цвѣтъ самого камня). Для данной цѣли камень предварительно подогревается горячими углями, насыпаютъ на него мастику и водятъ горячимъ утюгомъ. Затѣмъ слѣдуетъ вторичная шлифовка пемзою и наконецъ полировка.

Полировка есть не что иное, какъ самая тончайшая шлифовка, послѣ которой камень получаетъ блестящую, зеркальную поверхность. Здѣсь также различаютъ ручной и машинный способъ. При ручномъ способѣ натираютъ поверхность камня при помощи деревяннаго или желѣзнаго утюга, свинцовыхъ пластинъ, войлока, кожи, фланели однимъ изъ слѣдующихъ средствъ: 1) трепеломъ *), 2) наждакомъ **), отмученнымъ водою до желаемой тонины, 3) отмученною муміей ***, (иначе колькотаръ, крокусъ) для гранита, 4) оловяною золою (для мрамора), 5) порошкомъ свинца, 6) тонко просѣянномъ мраморомъ, алебастромъ, известью и т. д., 7) сѣрнымъ цвѣтомъ.

При машинной полировкѣ указанныя вещества прижимаются къ поверхности полируемаго камня вращающимися стальнымъ, войлочнымъ и т. п. кругомъ.

При художественной отдѣлкѣ поверхность камней иногда подвергается окраскѣ, золоченію и нанесенію углубленныхъ рисунковъ. Для послѣдней цѣли можно примѣнять слѣдующіе приемы. 1) путемъ ручной скульптурной работы (инструменты тѣ же, что и при обдѣлкѣ камней, но меньшихъ размѣровъ). 2) Помощью аппарата Tilgmann'a, работающаго сильною струею выбрасываемаго песка. 3) Вытравкою помощью кислотъ, защищая остальную поверхность камня слоемъ воска съ канифолью и скипидаромъ (на 6 ч. воска берутъ 2 ч. гарца, 2 ч. густого терпентина и 1 ч. ультрамарина). Когда защищающая оболочка высохнетъ, углубляютъ на ея поверхности рисунокъ помощью иглы и обводятъ контуръ камня валикомъ изъ воска. Теперь наливаютъ соответствующую кислоту высотой въ 1,5 сант., которую затѣмъ сливаютъ по прошествіи 1½ — 2 часовъ. Для вытравки по мрамору и доломиту употребляютъ разбавленную сѣрную кислоту, соляную кислоту; по граниту, діориту, сіениту и т. п. концентрированную фтористо водородную (плавиковую) кислоту.

Свойства строительныхъ камней и ихъ испытанія.

Изъ различныхъ нижеуказываемыхъ свойствъ камней наиболее важными для строительной практики являются *крѣпость*, т. е. сопро-

*) Порошокъ, состоящій изъ мельчайшихъ остатковъ кремнистыхъ панцирей особыхъ діаметровыхъ водорослей.

**) Окись алюминія, окрашенная окисью желѣза.

***) Главнымъ образомъ прокаленная окись желѣза.

тивленіе внѣшнимъ механическимъ усиліямъ и *прочность*, т. е. сопротивление различнымъ атмосфернымъ дѣятелямъ и рѣзкимъ колебаніямъ температуры.

Удѣльный вѣсъ. Значеніе удѣльнаго и объемнаго вѣсовъ камней имѣетъ значеніе при обсужденіи расходовъ по перевозкѣ, при вычисленіи вѣса каменныхъ конструкцій, наконецъ при распредѣленіи камней для различныхъ частей зданія. Конечно, для основаній и стѣнъ нижнихъ этажей слѣдуетъ брать болѣе тяжелыя породы: гранитъ, доломитъ и т. п., болѣе легкія, какъ туфы, пемзу, лаву — для сводовъ, легкихъ перегородокъ и т. п. Таблица удѣльныхъ вѣсовъ важнѣйшихъ строительныхъ камней и земель.

Базальтъ	2,8—3,3	Кварц. порфиръ	2,7
Лавы	0,7—2,6	Песокъ мелкій сухой	1,4—1,6
Пемза	0,37—0,9	Песокъ „ сырой	1,9—2,0
Диоритъ	2,9	Песокъ грубый	1,4—1,5
Доломитъ	2,9	Песчаникъ	1,9—2,7
Фельзит. порфиръ	2,2—2,8	Хлоритовый шиферъ	2,9
Гнейсъ	2,65	Кровельный шиферъ	2,65
Гранитъ	2,55—3,0	Тальковый шиферъ	2,8
Гипсовый камень	1,8—2,9	Глиняный шиферъ	2,7—3,5
Известнякъ	1,5—3	Серпентинъ	2,6
Мергель	2,5	Сіенитъ	2,5—3,0
Мѣлъ	1,8—2,6	Глина	1,8—2,6
Мраморъ	2,5—2,9	Торфъ	0,5—0,7
Каолинъ	2,2	Туфъ	1,5—2,5
Обсидіанъ	2,4	Растител. земля—тощая	1,3
		„ „ —сухая	1,6

Опредѣляются объемные и удѣльные вѣса по приѣмамъ изложеннымъ выше (см. технология строительныхъ растворовъ и искусственныхъ строительныхъ камней).

Пористость—важное свойство строительныхъ камней, ибо съ нимъ тѣсно связаны водопоглощаемость, воздухопроводность и теплопроводность. Пористость важнѣйшихъ строительныхъ камней по Hauenschild'у и Lang'у (въ % вѣса сухого вещества).

Каррара	0,22	Nebraer	25,5
Гранитъ	0,04—0,61	Keuper	16,94
Диоритъ	0,25	Welschuer Quader	15,4
Порфиръ	0,29—2,75	Кровельный шиферъ:	
Серпентинъ	0,56	рейнскій	0,15
Базальтъ	1,28	французскій	0,045
Сіенитъ	1,38	англійскій	0,110
Песчаникъ:		Известковый туфъ	
Solling	6,9	(Sollinger)	32,2

Опредѣленіе пористости см. выше „Технологія искусственныхъ строительныхъ камней.

Теплопроводность камней уменьшается по мѣрѣ увеличенія пористости. Очень пористый камень — дурно проводитъ тепло; плотный, компактный — легко. Теплопроводность камней является весьма важнымъ свойствомъ въ случаѣ примѣненія ихъ для устройства жилыхъ помѣщеній. Помѣщенія устроенныя изъ породъ, обладающихъ малою пористостью (напр. граниты, базальты и т. п.), неудобны для жилья, ибо лѣтомъ слишкомъ нагрѣваются, а зимою, наоборотъ, чрезчуръ охлаждаются. Отношеніе теплопроводности гранитовъ, мраморовъ, песчаниковъ, базальтовъ и т. п. къ теплопроводности глинистаго шифера и глины = (отъ 7,5 до 7): 4,7:2,8. По Less'у, если напр. принять теплопроводность мрамора съ Пиринеевъ за 1000, то теплопроводность нѣкоторыхъ другихъ породъ выразится слѣдующими цифрами: каррара — 769; песчаникъ (изъ Strehlen'a) — 701; серпентинъ (саксонскій) — 676; глина — 275.

Коэффициентъ расширенія отъ тепла для камней вообще незначителенъ. Для устойчивости по отношенію къ возвышенной t^0 (напр. при пожарахъ) желательно, чтобы коэффициенты расширенія камня по различнымъ его направленіямъ не слишкомъ разнились другъ отъ друга. По Ranninc'у коэффициентъ линейнаго расширенія:

Для гранита	0,0008—0,0009
„ мрамора	0,00065—0,001
„ песчаника	0,0009—0,0012
„ глинистаго шифера . . .	0,00104

Звукопроводность камня измѣняется согласно съ его теплопроводностью.

Окраска камней зависитъ отъ цвѣта составляющихъ минераловъ, иногда и отъ присутствія нѣкоторыхъ постороннихъ примѣсей (органическія вещества, соединенія хрома, марганца, желѣза и др.). При примѣненіи камней для строительнаго дѣла не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что цвѣтъ весьма многихъ породъ съ теченіемъ времени на воздухѣ измѣняется. Иногда при этомъ окраска камней улучшается; она пріобрѣтаетъ болѣе пріятный, темный тонъ (напр. желтый итальянскій известнякъ „Thavertine“), иногда же темная окраска камней обусловленная примѣсью органическихъ соединеній вслѣдствіе вліянія атмосферныхъ дѣятелей, слабѣетъ. Содержаніе въ камняхъ колчедана (FeS_2), закисныхъ соединеній марганца и желѣза также служитъ причиною измѣненія окраски и притомъ часто неравномѣрнаго. Такъ напр. вслѣдствіе окисленія указанныхъ примѣсей кислородомъ воздуха на поверхности бѣлаго мрамора появляются желтыя, коричневыя и черныя пятна и полосы.

Воздухопроводность. Большая или меньшая *проводимость воздуха* камнями безусловно необходима при устройствѣ жилыхъ помѣщеній, ибо обуславливаетъ естественный обмѣнъ воздуха черезъ стѣны

или вентиляцію. Камни, которые хорошо проводят тепло (гранить, базальтъ, мраморъ)—дурно проводят воздухъ и наоборотъ. Не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что содержаніе влаги въ порахъ камней значительно понижаетъ воздухопроводимость. Отсюда правило: 1) передъ кладкою камня должны быть предварительно подвергнуты воздушной сушкѣ, 2) въ кладкѣ должны быть защищены отъ дѣйствія почвенной сырости.

Твердость отдѣльныхъ минераловъ опредѣляется, какъ извѣстно помощью шкалы твердости Моса, въ которой минералы расположены въ такой послѣдовательности, что каждымъ изъ нихъ можно провести черту на поверхности предыдущаго (въ порядкѣ увеличивающейся твердости).

Талькъ	1	Ортоклазъ	6
Гипсъ или каменная соль	2	Кварцъ	7
Известковый шпатъ	3	Топазъ	8
Плакиковый шпатъ	4	Корундъ	9
Апатитъ	5	Алмазъ	10

Предположимъ, что какой-нибудь минералъ получаетъ царапину отъ ортоклаза, но самъ оставляетъ слѣдъ на поверхности апатита, то твердость его между 5—6. При испытаніи твердости помощью шкалы Моса не слѣдуетъ упускать изъ вниманія, что одинъ и тотъ же минералъ можетъ иногда по различнымъ направленіямъ и въ различныхъ точкахъ поверхности обнаруживать различную твердость,

Твердость пористыхъ и изъ различныхъ минераловъ состоящихъ породъ не можетъ быть обнаружена помощью шкалы Моса. Въ этомъ случаѣ примѣняютъ одинъ изъ слѣдующихъ методовъ.

Шлифовальные круги Rondelet. Взвѣшенный камень прижимается къ горизонтальному, вращающемуся съ одинаковой скоростью стальному или чугунному кругу съ постояннымъ усиліемъ и по истеченіи опредѣленнаго времени опредѣляется путемъ вторичнаго взвѣшиванія камня его потеря. (Подробнѣе см. испытаніе портландъ-цемента).

Способы основанные на измѣреніи скорости прониканія въ камень вращающагося, или ударнаго сверла (машина Siebencecher'a)

Барабанный приборъ Деваля. Этотъ аппаратъ служитъ для опредѣленія сравнительной твердости шоссеинаго щебня (см. фиг. 317). Онъ состоитъ изъ двухъ наклонныхъ, вращающихся на горизонтальной оси желѣзныхъ барабановъ, снабженныхъ крышками. Для опыта въ одинъ изъ барабановъ высыпается 5 клгр. изслѣдуемаго щебня, а въ другой такое же количество „нормальнаго щебня“, служащаго для сравненія. Какъ испытуемый щебень, такъ и „нормальный“ должны быть предварительно промыты. Послѣ извѣстнаго числа оборотовъ тотъ и другой щебень вновь промываютъ, высушиваютъ и взвѣшиваютъ.

Способность къ обработкѣ (сопротивленіе при обработкѣ) находится въ тѣсной зависимости отъ твердости, крѣпости, вязкости, хруп-

кости, пористости и структуры данной породы. Вообще съ увеличеніемъ твердости, крѣпости увеличивается также и сопротивленіе обработкѣ. Въ Парижѣ напр. известковыя породы, по времени, которое долженъ употребить каменщикъ на обтеску одного квадратнаго метра поверхности, дѣлятся на 8 классовъ (Кирпичевъ).

Классъ.	Время на обработку одного кв. метра.	Сопротивленіе раздавливанію.
8	2,8 часа	50—100
7	3,8 „	100—150
6	5,6 „	150—200
5	8,3 „	200—300
4	11,3 „	300—400
3	14,0 „	400—600
2	19,5 „	600—1000
1	22,5 „	1000—1800

Для оцѣнки способности даннаго камня къ обработкѣ, подвергаютъ его поверхность или ребра соотвѣствующимъ манипуляціямъ и опредѣляютъ затѣмъ время и расходъ рабочихъ силъ для 1 кв. метра поверхности или 1 метра профили. По отношенію къ сопротивляемости обработкѣ, различныя, примѣняемыя въ строительномъ дѣлѣ породы можно раздѣлить на слѣдующіе классы. 1) Легко обрабатываемыя. Настоящій мраморъ, алебастръ; серпентинъ, известнякъ и песчаникъ въ невысушенномъ состояніи. 2) Съ среднею сопротивляемостью обработкѣ. Известняки и песчаники послѣ воздушной сушки, нѣкоторые туфы и т. п. 3) Трудно обрабатываемыя. Роговая обманка, базальтъ, діоритъ, полевошпатъ, сіенитъ и др.

Способность къ полировкѣ. Послѣ полировки интенсивнѣе обнаруживаются цвѣтъ, блескъ и др. внѣшніе признаки минераловъ, также возрастаетъ весьма часто и прочность *). Лучше всего полируются плотныя, компактыя (безъ поръ) мелкозернистыя породы, однородныя, напр.

*) Вслѣдствіе закупорки поръ.

мраморъ, или представляющія когломераты минераловъ приблизительно одинаковой твердости: напр. граниты, бѣдные слюдою. Изъ породъ принимаемыхъ въ строительномъ дѣлѣ хорошо полируются: многіе мраморы, граниты, сіениты, порфиры, діабазы, діориты, серпентины, алебастръ и т. д. Вообще не способны къ полировкѣ слѣдующіе сорта: песчаникъ, глинистые сланцы, глинистые известняки, трахитъ, лава, туфы и т. д. Способность къ полировкѣ опредѣляется пробой помощью шлифовальнаго станка.

Огнестойкость строительныхъ камней зависитъ какъ отъ ихъ химическаго состава, такъ и отъ структуры и физическихъ свойствъ. Камни не горючи, но тѣмъ не менѣе они могутъ при дѣйствіи огня разрушиться: 1) вслѣдствіе химическаго разложенія при возвышенной температурѣ (напр. известняки при накаливаніи теряютъ углекислоту и превращаются въ ѣдкую известь, 2) вслѣдствіе различія въ коэффициентахъ расширенія различныхъ составляющихъ породу отдѣльныхъ минералогическихъ индивидуумовъ (напр. крупнозернистый гранитъ при накаливаніи растрескивается), 3) вслѣдствіе плавкости (напр. базальты, долериты и др.).

Къ огнестойкимъ породамъ относятся: хлоритовые, слюдяные, тальковые и глиняные шифера, серпентинъ, гипсъ; трохитовые, базальтовые и пемзовые туфы; наконецъ песчаники и кварциты съ глинистымъ или кремнеземнымъ цементомъ. Изъ указанныхъ породъ возможно устраивать различныя печи: химическія, металлургическія и др. Особенно хорошо сопротивляются накаливанію кварциты, которые иногда употребляются для внутренней обдѣлки доменныхъ печей и т. п.

Къ породамъ *неогнестойкимъ* относятся вообще авгитовыя породы, напр. базальтъ, долоритъ; всѣ породы содержащія углекислую известь или магнезію (известняки, мраморы, доломиты, мергели), также песчаники съ мергелистымъ или известняковыми цементами, наконецъ пемза (вспучивается при накаливаніи). Остальныя породы (граниты, сіениты и т. п.), также не могутъ быть причислены къ огнестойкимъ, ибо при накаливаніи даютъ трещины.

Не слѣдуетъ упускать изъ вниманія и того обстоятельства, что часто наиболѣе огнестойкія породы послѣ дѣйствія огня и во время его дѣйствія обнаруживаютъ сравнительно невысокую крѣпость. Для испытанія камней на огнестойкость, ихъ сильно накаливаютъ продолжительное время и затѣмъ медленно охлаждають въ нагрѣтой печи. По Вöhme камни въ теченіи двухъ часовъ накаливаются въ пламени газа (часто послѣ предварительнаго насыщенія водою) и затѣмъ погружаютъ въ воду.

Сопротивляемость механическимъ усиліямъ.

Сопротивляемость изнашиванію При выборѣ камней для мощенія улицъ, для устройства троттуаровъ, ступеней лѣстницъ, необходимо

имѣть въ распоряженіи данныя для сужденія о сопротивляемости истиранію. Это свойство зависитъ отъ твердости и хрупкости породы. Для устройства мостовыхъ необходимо выбирать камни съ значительною твердостью и вязкостью. Опредѣляется сопротивляемость истиранію при помощи шлифовальнаго круга Баушингера по приемамъ, уже изложеннымъ при испытаніяхъ цементовъ и искусственныхъ строительныхъ камней. Потерю при истираніи обыкновенно выражаютъ числомъ куб. сант. Слѣдующая таблица содержитъ среднія цифры, характеризующія сопротивляемость истиранію различныхъ каменныхъ породъ (опытныя данныя испытательной станціи въ Шарлоттенбургѣ).

Потеря при истираніи.

1. Базальтъ	7,3 куб. сант.
2. Гранитъ	8,3 " "
3. Сѣрая вакка (родъ песчан.)	10,8 " "
4. Известняки	36,0 " "
5. Порфиры	6,8 " "
6. Песчаники	61,7 " "

Изъ этихъ и другихъ цифръ можно вывести заключеніе, что сопротивленіе истиранію не находится въ зависимости, ни отъ крѣпости камня, ни отъ степени пористости.

Крѣпость. (Сопротивляемость разрыву, изгибу, сжатію, срѣзыванію). При испытаніяхъ строительныхъ камней на крѣпость обыкновенно ограничиваются опредѣленіемъ сопротивленія сжатію, такъ какъ именно сжатію и приходится обыкновенно подвергаться камнямъ въ различнаго рода постройкахъ.

Крѣпость камней зависитъ отъ многихъ причинъ: минералогическаго состава, структуры, пористости; въ цементированныхъ породахъ отъ рода цементирующаго вещества (напр. въ песчаникахъ), способа обработки, степени вѣтвистости, степени влажности, способа приложенія усилія, отношенія высоты камня къ его поперечному сѣченію. Свѣжевыломленные камни (въ состояніи каменноломенной влажности) значительно слабѣе, чѣмъ тѣ, которые уже успѣли совершенно высохнуть. Чѣмъ отношеніе вышины камня къ его поперечному сѣченію болѣе, тѣмъ меньше сопротивленіе сжатію. Обыкновенно сопротивленіе камня больше тогда, когда давленіе направлено нормально къ его природной постели. Неосторожная обработка камня инструментами, въ особенности тяжелыми, дѣйствуетъ неблагопріятно на крѣпость камней. Несмотря на огромное число испытаній, нѣтъ никакой возможности однако предсказать величину сопротивленія камней по ихъ физическимъ свойствамъ, составу, строенію, геологическому возрасту. Поэтому для опредѣленія механическихъ свойствъ необходимо прибѣгать къ непосредственному опыту. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, правда, значительный удѣльный вѣсъ, мелкозернистость, массивность могутъ служить указа-

ніємъ и на большую сопротивляемость механическимъ усиліямъ. При изслѣдованіи французскихъ известняковъ оказалось напр., что чѣмъ камень плотнѣе, тѣмъ больше его сопротивленіе. Но съ другой стороны Вѳте доказалъ, что во многихъ случаяхъ болѣе легкіе известняки и песчаники въ то же время и болѣе крѣпки.

Коэффициентъ прочности (отношеніе прочнаго сопротивленія къ временному) при расчетахъ сооружений принимаютъ

не выше $\frac{1}{20}$ при обыкновенныхъ условіяхъ,
 „ „ $\frac{1}{10}$ „ самыхъ благопріятныхъ условіяхъ,
 около $\frac{1}{40}$ „ исключительныхъ условіяхъ: высокія колонны, возможность сотрясеній.

По строительно-полицейскимъ правиламъ г. Берлина допускаются слѣдующія нагрузки.

Для базальта	75	кггр.	на кв. сант.
„ гранита	45	„	„ „ „
„ бѣлаго песчаника	30	„	„ „ „
„ раковистаго известняка	25	„	„ „ „
„ мрамора	24	„	„ „ „
„ краснаго песчаника	15	„	„ „ „
„ туфа	6	„	„ „ „

Сопротивленіе камней разрыву. Сопротивленіе разрыву значительно менѣе сопротивленія раздавливанію и составляетъ по Баушингеру всего $\frac{1}{26}$ — $\frac{1}{30}$ сопротивленія раздавливанію. Для испытанія на разрывъ изготовляютъ либо призматическіе бруски прямоугольнаго сѣченія, либо придаютъ пробамъ форму 8 (см. изготовленіе цементныхъ образцовъ на разрывъ). Въ первомъ случаѣ для разрыва часто употребляютъ универсальный аппаратъ Вердера, во второмъ случаѣ извѣстный уже намъ разрывной аппаратъ Михаэлиса. И въ разсматриваемомъ случаѣ, какъ и при испытаніяхъ на раздавливаніе, необходимо принимать во вниманіе форму, величину и степень влажности испытываемаго образца.

Сопротивленіе излому также значительно менѣе сопротивленія камней сжатію и по Баушингеру составляетъ отъ $\frac{1}{9}$ — $\frac{1}{6}$ послѣдней величины. Производится испытаніе на изгибъ по приемамъ уже изложеннымъ выше при испытаніяхъ цементныхъ растворовъ. Часто изготовляютъ образцы слѣдующихъ размѣровъ: $36 \times 5 \times 5$ сант.

Сопротивленіе скалыванію среднимъ числомъ $\frac{1}{16}$ — $\frac{1}{14}$ сопротивленія сжатію. Расчетное прочное сопротивленіе этимъ усиліямъ слѣдуетъ принимать, какъ и для сжатія (см. выше), т. е. ни въ какомъ случаѣ не болѣе $\frac{1}{10}$ временнаго.

Для сравненія сопротивленій наиболее употребительныхъ строительныхъ камней различнымъ усилямъ можетъ служить слѣдующая таблица.

Среднія цифры въ килгр. на кв. сант.					
	Сжатию.	Разрыву.	Излому.	Скалыванію.	
Базальтъ	2400	—	200	—	
Диабозъ	2000	50	—	—	
Діоритъ	1900	50	—	94	
Доломитъ	870	20	120	76	
Гранитъ	2000	30	140	80	
Известняки {	а) мраморъ	650	50	—	62
	б) плотный извест.	800	—	70	80
	в) раковистый известнякъ .	700	27	—	60
Сіенитъ	1300	—	—	165	
Трахитъ	1200	—	118	28	
Песчаники	620—1800	4—22	70	30—102	

Также въ массивныхъ каменныхъ породахъ (граниты, диабазы, діориты и т. д.) не замѣчается соответствія между удѣльнымъ вѣсомъ и сопротивляемостью. Осадочныя породы (песчаники, известняки) обыкновенно слабѣ массивныхъ, но это не общее правило: есть известняки не уступающіе по крѣпости хорошимъ гранитамъ. Мелкозернистые камни обыкновенно прочнѣ крупнозернистыхъ той же породы. По французскимъ даннымъ сопротивленіе сжатію мелкозернистыхъ гранитовъ 1000—1500; а сопротивленіе сжатію крупнозернистыхъ гранитовъ 700—1000 килгр. на кв. сант. Но встрѣчаются и раковистые известняки весьма крѣпкіе. Чѣмъ крѣпче данная порода, тѣмъ труднѣе ее обработать; камни для которыхъ сопротивленіе больше 1000 килгр., обрабатываются съ такимъ трудомъ, что это мѣшаетъ примѣненію ихъ въ строительномъ дѣлѣ (Кирпичевъ). Камни, поглощающіе болѣе воды, часто (но не всегда) обладаютъ меньшею

крѣпостью. Въ виду этого, испытаніе слѣдуетъ производить какъ надъ сухими, такъ и надъ насыщенными водою образцами.

Опредѣленіе сопротивляемости раздавливанію. Такъ какъ на сопротивляемость камней оказываетъ вліяніе, какъ форма, такъ и размѣры образца, то для полученія сравнимыхъ результатовъ, обыкновенно выпиливаютъ (но не вытесываютъ) изъ породы кубики, сторона которыхъ для твердыхъ породъ 5—4 сант., для мягкихъ породъ 7,7—6 сант. Поверхности давленія, разумѣется должны быть совершенно правильныя, вполнѣ горизонтальныя. Для полученія среднихъ цифръ приходится производить раздавливаніе надъ 8—15 пробами, высушенными при 50° С., а также надъ образцами, пропитанными водою. Для испытанія камней на раздавливаніе чаще всего примѣняютъ уже описанный (см. технологию строительныхъ растворовъ) прессъ *Амслеръ Лаффона*.

Результаты многочисленныхъ опытовъ Шарлоттенбургской испытательной станціи приведены въ слѣдующей таблицѣ (среднія цифры изъ многочисленныхъ испытаній).

НАЗВАНІЕ ПОРОДЫ.	Число опытовъ	Сопротивленіе раздавливанію (въ клгр. на кв. сант.)			
		Въ состояніи воздуш- ной сухости.	Въ состояніи насы- щенномъ водою.	Послѣ однократ- наго заморажи- ванія.	
				На воздухѣ.	Подъ водою.
Гранитъ	5530	2206	2078	2037	2037
Диобазъ, діоритъ и др. . .	320	2757	2640	2566	2553
Порфиръ	1000	2631	2519	2491	2488
Базальтъ	680	3616	3513	3478	3458
Мраморъ	800	1028	972	955	932
Песчаники	3960	922	850	826	825
Сѣрый вакъ	600	2393	2301	2202	2148

Привожу еще величины временнаго сопротивленія сжатію (т. е. нагрузки въ моментъ раздробленія) для нѣкоторыхъ породъ, опредѣленные въ механической лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія (см. Эвальдъ „Строительные матеріалы“ стр. 33) и Ляминъ „Строительные камни С.-Петербурга“.

Название камней. Въ килогр., на кв. сент.

Базальтъ Волинскій	2851
Гранитъ Гангеудскій	1184—1481
„ Выборгскій (м. Сейніо)	580
„ Сердобольскій	1062—1767
Песчаникъ Котельницкій № 2	1690
„ Радомскій	600—1000
Известнякъ Севастопольскій № 1	1217
„ Ревельскій	499
„ Гатчинскій	299
„ Севастопольскій № 8	81
Мраморъ Ревельскій	500—700
Порфиръ Гохландскій	700—1700
Путиловская плита	937
Волховская „	1068
Тосненская „	850

Прочность. Подъ прочностью камней подразумѣваютъ сопротивленіе атмосфернымъ вліяніямъ и рѣзкимъ колебаніямъ температуры. Прочность находится въ зависимости, какъ отъ химическаго состава, такъ и отъ физическихъ свойствъ и структуры породы. Вообще можно замѣтить, что чѣмъ однороднѣе, тяжелѣе мелкозернистая порода, чѣмъ она содержитъ менѣе поръ, трещинъ, менѣе химическихъ соединений, измѣняющихся на воздухѣ и въ водѣ, противостоитъ какъ механическому, такъ и химическому вывѣтриванію.

Факторы, обусловливающіе разрушеніе каменныхъ породъ.

- 1) Рѣзкія перемѣны температуры вызываютъ образованіе въ камняхъ трещинъ.
- 2) Вода, попадая въ образовавшіяся трещины и замерзая зимою можетъ слѣдствіе расширенія при этомъ въ объемѣ обусловить разрушеніе камня. Разрыхленіе камня можетъ имѣть мѣсто также вслѣдствіе растворяющаго дѣйствія воды на нѣкоторыя соли, содержащіяся въ породѣ. Извѣстно, что если вода содержитъ въ растворѣ углекислоту, то она способна растворить углекислую известь и углекислое желѣзо, въ чистой водѣ не растворяющіяся.
- 3) Кислородъ воздуха оказываетъ значительное вліяніе на вывѣтриваніе камней, вслѣдствіе окисленія часто встрѣчающихся въ послѣднихъ закиси желѣза, сѣрнаго колчедана, углекислаго желѣза и т. п. Колчеданъ напр. (FeS_2) при окисленіи кислородомъ воздуха переходитъ въ гидратъ окиси желѣза ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), увеличиваясь при этомъ въ объемѣ. Одновременно при этомъ образуется желѣзный купоросъ, также сѣрная кислота, дѣйствующіе разрушительнымъ образомъ на карбонаты съ образованіемъ напр. гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Происходитъ слѣдова-

тельно цѣлый рядъ химическихъ превращеній составныхъ частей породы, могущихъ, разумѣется, въ худшемъ случаѣ обусловить и полное разрушеніе камня.

4) Углекислота воздуха совмѣстно съ водою можетъ, какъ было уже сказано, повести къ разрушенію породы вслѣдствіе растворенія FeCO_3 , CaCO_3 и т. п.

5) Въ каждомъ каменномъ углѣ всегда содержатся нѣсколько % сѣры въ видѣ желѣзнаго колчедана. При горѣнн угля въ топкахъ, сѣра окисляется въ сѣрнистый ангидридъ, распросстраивающійся вмѣстѣ съ продуктами горѣнія въ наружную атмосферу. Въ большихъ фабричныхъ центрахъ содержаніе SO_2 въ 1 куб. метрѣ воздуха можетъ доходить до 3—4 мгр. Двуокись сѣры затѣмъ окисляется въ сѣрную кислоту, а послѣдняя, какъ извѣстно, дѣйствуетъ растворяющимъ образомъ на многія составныя части каменныхъ породъ (главнымъ образомъ на CaCO_3). Напр. куполь собора св. Павла въ Лондонѣ, сдѣланный изъ порландскаго известняка, мѣстами покрытъ налетомъ сѣрно-кальціевой соли, толщиной болѣе 2 см.

6) Растительные организмы, произрастающіе на поверхности камней, могутъ также вызвать ихъ разрушеніе. Во-первыхъ, механическимъ дѣйствіемъ корней, проникающихъ въ расщелины камней, во-вторыхъ химическимъ дѣйствіемъ растительныхъ кислотъ (гумуса), растворяющихъ многія составныя части каменной породы.

Испытаніе прочности строительныхъ камней.

Испытаніе прочности строительныхъ камней состоитъ: 1) въ испытаніи „на морозъ“ (проба замораживаніемъ) и 2) въ опредѣленіи вредныхъ примѣсей.

1) Проба на замораживаніе (см. технологія строительныхъ растворовъ и искусственныхъ строительныхъ камней).

2) Опредѣленіе вредныхъ примѣсей: а) растворимыхъ въ водѣ солей. 25 гр. тонко измеленной и просѣянной средней пробы выщелачиваютъ 250 куб. сант. воды. Послѣ часового кипѣнія, фильтруютъ, промываютъ осадокъ и, слабо прокаливъ его, взвѣшиваютъ; б) углекислой извести, гипса, колчедана и т. п. Испытуемый образецъ подвергается въ теченіе 3 часовъ въ папиновомъ котлѣ дѣйствию пара въ $\frac{1}{4}$ атмосферы и затѣмъ изслѣдуется поверхность на присутствіе трещинъ, отслоеній и т. п.

Консервированіе камней. (Предохраненіе камней отъ вывѣтриванія). Намъ уже извѣстно, что полировка и шлифовка является также средствомъ для увеличенія прочности камней. Для консервированія породъ неполирующихся предложено много средствъ и всѣ они основаны на заполненіи поръ и трещинъ камней веществомъ въ водѣ нераствори-

мымъ и вообще устойчивымъ по отношенію къ атмосфернымъ дѣятелямъ. Изъ многочисленныхъ для этой цѣли предложенныхъ средствъ (льняное масло, растворимое стекло, растворы многихъ солей и пр.) наилучшими по видимому оказались „Тесталинъ“ для песчаниковыхъ породъ и флюаты Кесслера (флюатированіе) для болѣе мягкихъ песчаниковъ, мраморовъ, известняковъ, гипса, туфа и др.

Флюаты Кесслера представляютъ растворы фтористыхъ металловъ (обыкновенно магнія, цинка, алюминія и свинца) въ кремневой кислотѣ. Проникая въ поры камня, флюаты переводятъ всѣ растворимыя соединенія въ нерастворимыя фтористо-кремнекислыя; вступая въ двойное соединеніе напр. съ углекислою известью горной породы, они съ выдѣленіемъ CO_2 образуютъ весьма прочныя фтористыя соединенія, отлагающіяся въ массѣ камня на известной глубинѣ. Въ настоящее время въ Парижѣ, столь богатымъ сооруженіями изъ известняка почти всѣ монументальныя сооруженія флюатируются. Флюатированіе примѣнено напр. также къ бѣлому Радомскому песчанику, употребленному на памятникъ Императору Александру II въ Москвѣ.

Тесталинъ Гартманна и Гауерса въ Ганноверѣ представляетъ собою двѣ жидкости, одна за другою наносимыя на поверхность камня. Сперва пропитываютъ камень (чаще всего песчаники) спиртовымъ растворомъ калийнаго мыла, а затѣмъ воднымъ растворомъ уксуснокислаго глинозема. Путемъ обмѣннаго разложенія обоихъ соединеній образуется глиноземная соль жирной кислоты, отлагающаяся въ порахъ камня. Между прочимъ „тесталинъ“ съ большимъ успѣхомъ былъ примѣненъ для консервированія песчаниковой облицовки ратуши въ Гамбургѣ.

Асфальтовый камень.

АСФАЛЬТЪ.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію этого строительнаго матеріала, необходимо точно установить различіе въ терминахъ, примѣняемыхъ въ геологіи и въ строительномъ дѣлѣ. Въ геологіи асфальтомъ называется особое ископаемое смолистое вещество чернаго цвѣта, съ характернымъ запахомъ, на холоду хрупкое, при нагрѣваніи становящееся тягучимъ. Въ технику же такой чистый асфальтъ называется *битумомъ* (также горною смолою, или природнымъ гудрономъ). Въ чистомъ видѣ битумъ встрѣчается лишь въ немногихъ мѣстахъ земнаго шара, напр. по берегамъ Мертваго моря (іудейская смола). Здѣсь она отрывается отъ дна большими глыбами, всплываетъ вслѣдствіе меньшаго удѣльнаго вѣса сравнительно съ тяжелой горько-соленой водою Мертваго моря на поверхность послѣдняго и носится вѣтромъ пока ее не прибьетъ къ берегу. Значительною чистотою отличается также и перувианскій битумъ изъ Кахитамбо. Если природный асфальтъ встрѣчается не въ видѣ твердыхъ при обыкновенной t^0 кусковъ, но въ видѣ болѣе или менѣе вязкой, тягучей смолы, то онъ носитъ названіе горнаго дегтя. Чистые битумы *) встрѣчаются въ природѣ весьма рѣдко, обыкновенно къ нимъ бываютъ примѣшаны землистые или глинистые породы, или же битумъ пропитываетъ природные песчаники и известняки. Известняки, пропитанные горною смолою, и называются обыкновенно въ строительной технику *асфальтомъ*, хотя правильнѣе было бы называть ихъ асфальтовымъ камнемъ. Это въ настоящее время главный сырой матеріалъ асфальтовой промышленности. Для приготовленія изъ асфальта половъ, мостовыхъ и т. п. примѣняютъ два способа: способъ

*) Элементарный составъ (битума) асфальта до сихъ поръ не вполне разясненъ. По однимъ изслѣдованіямъ онъ состоитъ изъ углерода, кислорода и азота; по другимъ въ составъ асфальта не входитъ кислородъ, но сѣра. (Kayser).

прессованія (трамбованный асфальтъ) и способъ наливаанія (литой асфальтъ). Для послѣдней цѣли примѣняютъ такъ называемую асфальтовую мастику, получаемую нагрѣваніемъ измельченнаго асфальтового камня съ битумомъ, извлеченнымъ изъ битумознаго песчаника или приготовленнаго изъ тринидадскаго битума и буреугольнаго масла. Эти смолистыя вещества, болѣе или менѣе чистыя, прибавляемыя также для облегченія расплавленія къ асфальтовой мастикѣ на мѣстѣ производства асфальтовыхъ работъ, называются въ технику гудронами. Итакъ въ технику различаютъ: 1) чистую горную смолу 2) асфальтовый камень (известнякъ, пропитанный битумозными веществами); 3) битумозный песчаникъ; 4) гудроны—болѣе или менѣе „чистые битумы“, играющіе какъ бы роль плавней для измельченныхъ частичекъ асфальтового камня, при фабрикаціи асфальтовой мастики; 5) асфальтовую мастику, представляющую смѣсь асфальтового камня съ гудрономъ. Последнюю обыкновенно называютъ также просто асфальтомъ.

Историческій обзоръ. Въ качествѣ строительнаго матеріала асфальтъ былъ уже извѣстенъ въ самой глубокой древности. Нѣкоторые выраженія въ книгѣ Бытія указываютъ на то, что асфальтъ уже примѣнялся при постройкѣ ковчега Ноя. Геродотъ, Плиній и другіе авторы упоминаютъ, что при сооруженіи вавилонской башни, примѣнялся асфальтъ въ качествѣ вяжущаго матеріала. На это примѣненіе асфальта въ строительной технику древнихъ указываютъ также развалины Ниневіи и Вавилона. Древніе египтяне употребляли асфальтъ для бальзамированія труповъ. Съ паденіемъ древнѣйшей цивилизаціи асфальтъ, какъ строительный матеріалъ, былъ забытъ. Есть основанія полагать, что не были знакомы съ нимъ также древніе греки и римляне; по крайней мѣрѣ въ развалинахъ построекъ этихъ народовъ асфальтъ до сихъ поръ не найденъ. Лишь въ началѣ 18 столѣтія (1711) асфальтъ снова былъ случайно открытъ въ Швейцаріи (Вальде-Траверъ, кантонъ Невшатель) греческимъ докторомъ Эйринисомъ во время одной изъ его экскурсій. Сначала докторъ Эйринисъ примѣнялъ найденный имъ асфальтъ въ качествѣ лекарства отъ всевозможныхъ болѣзней, а затѣмъ и для приготовленія замазокъ, цементовъ. Послѣ его смерти примѣненіе асфальта вновь прекратилось и лишь спустя 50 лѣтъ, именно съ 1802 года, когда были открыты въ Seissel'ѣ (Франція) богатѣйшія залежи асфальта—онъ получаетъ уже весьма широкое примѣненіе въ строительномъ дѣлѣ: для устройства мостовыхъ, тротуаровъ, террасъ, для изоляціи стѣнъ отъ грунтовой сырости и т. п.

Асфальтовый камень.

Главнымъ матеріаломъ для асфальтовыхъ работъ является въ настоящее время асфальтовый камень. Какъ было уже сказано, асфальто-

вымъ камнемъ называется известнякъ (или доломитъ), пропитанный битумомъ (горною смолою). Это родъ естественнаго бетона, въ которомъ камневидныя составляющія (зерна известняка) сцементированы горною смолою. Смола не проникаетъ внутрь этихъ зеренъ, но лишь заполняетъ промежутки между ними, въ чемъ легко убѣдиться, разрѣзавъ камень ножомъ и осмотрѣвъ разрѣзъ. На коричневой поверхности разрѣза ясно обозначаются бѣлыя частицы углекислаго кальція. Относительно образованія асфальтоваго камня существуетъ нѣсколько гипотезъ. По одной изъ нихъ онъ произошелъ вслѣдствіе пропитанія известняковъ парами нефти и послѣдующаго окисленія (осмоливанія) послѣднихъ на счетъ кислорода, заключающагося въ породѣ. Дѣйствительно, въ природѣ иногда встрѣчаются асфальтовые руды, въ которыхъ вмѣсто битума сохранилась жидкая нефть. Асфальтовый камень содержитъ обыкновенно 6—12% битума *) и въ зависимости отъ относительнаго содержанія послѣдняго окрашенъ въ коричневый или черный цвѣтъ; плотность асфальтоваго камня не велика: онъ легко чертится ногтемъ. Въ свѣжемъ изломѣ асфальтовый камень иногда издаетъ смолистый запахъ (при болѣе значительномъ содержаніи горной смолы отъ 10—12%). Запахъ этотъ усиливается при нагрѣваніи. Удѣльный вѣсъ асфальта около 2,235; вѣсъ 1 куб. метра=2220 килогр. (1 куб. футъ вѣситъ 3,8—4,2 пуда). Для извлеченія битума изъ асфальтоваго камня можно воспользоваться обыкновенными растворителями горной смолы. Какъ извѣстно, послѣдняя почти нерастворима въ спиртѣ, мало въ эфирѣ и почти вполне растворима въ сѣрнистомъ углеродѣ и терпентинѣ. Помощью вывариванія съ водою не удастся изолировать битума отъ породы и этимъ асфальтовый камень существенно отличается отъ другой асфальтовой руды—гудроннаго камня, представляющаго изъ себя песчаникъ, пропитанный смолою (см. ниже). Хорошій асфальтовый камень долженъ состоять главнымъ образомъ изъ битума и известняка и по возможности менѣе содержать глины, сѣры и магнезін. Чѣмъ мельче зерно известняка, послужившаго для образованія асфальтоваго камня, чѣмъ онъ равномернѣе пропитанъ битумомъ, и, наконецъ, чѣмъ болѣе въ породѣ содержится послѣдняго, тѣмъ достоинство ея выше. Хорошая асфальтовая руда не должна содержать менѣе 7% битума. Асфальтовый камень, полежавшій долгое время на открытомъ воздухѣ, пріобрѣтаетъ снаружи сѣроватый цвѣтъ, вслѣдствіе улетучиванія части смолы. Но толщина этой вывѣтрившейся коры не достигаетъ $\frac{1}{2}$ —1 миллиметра; кора эта способна затѣмъ въ теченіе тысячелѣтій сохранять внутреннюю массу отъ разрушающаго дѣйствія атмосферныхъ дѣятелей, такъ что асфальтъ слѣдуетъ причислить къ строительнымъ матеріаламъ, неспособнымъ къ вывѣтриванію.

*) Рѣдко 20—30%.

Отношеніе асфальтоваго камня къ нагрѣванію. При постепенномъ повышеніи температуры, асфальтовый камень обнаруживаетъ нѣсколько характерныхъ свойствъ, имѣющихъ большое значеніе при примѣненіи его для строительныхъ цѣлей. Если нагрѣвать асфальтовый известнякъ, напр., на желѣзномъ листѣ, то при 50° С. онъ не расплавляясь, рассыпается въ порошокъ: битумъ, связывающій частицы известняка размягчается, а слѣдовательно ослабѣваетъ и сила сдѣлленія между послѣдними. Полное распаденіе въ порошокъ возможно однако лишь при вполнѣ равномерномъ распредѣленіи смолы между частицами известняка; въ противномъ случаѣ подѣ дѣйствіемъ тепла произойдетъ лишь растрескиваніе камня. Если теперь асфальтовый порошокъ (безразлично полученъ ли онъ дѣйствіемъ жара или путемъ механическаго измелченія) вновь нагрѣть до 150° (но не выше); то онъ приобретаетъ способность формироваться въ сплошную массу подѣ вліяніемъ сдавливанія или уколачиванія, и, что особенно важно, масса эта по охлажденіи приобретаетъ твердость природнаго асфальта. На этомъ свойствѣ основано примѣненіе асфальта къ производству работъ такъ называемымъ *прессованнымъ* или *трамбованнымъ* способомъ (*asphalte comprimé*). При возвышеніи температуры выше 160°, асфальтъ уже начинаетъ разлагаться съ выдѣленіемъ паровъ и газовъ, но обратитъ его въ жидкое или полужидкое состояніе не удастся, не смотря на продолжительное нагрѣваніе при весьма высокой t° . Но если теперь къ асфальту прибавитъ горнаго дегтя или вообще гудрона, то сравнительно ничтожное количество послѣдняго обусловитъ переходъ въ расплавленное состояніе огромнаго количества асфальтоваго порошка. Полученная такимъ путемъ масса, способна отливаться въ формы и называется асфальтовой мастикой. Последняя идетъ на производство асфальтовыхъ работъ т. н. *наливнымъ* способомъ (*литой асфальтъ*, *asph. coulé*).

Мѣсторожденія асфальтоваго камня.

Заграничныя. Важнѣйшія заграничныя мѣсторожденія асфальтоваго камня суть слѣдующіе: 1) Сейсельское (Seyssel, во Франціи) въ мѣстности, называемой Pyrimont, возлѣ станціи желѣзной дороги, соединяющей Лионъ съ Женевою. Мощность залежей до 7 метровъ. Мѣсторожденіе принадлежит Compagnie Générale des Asphaltes de France. Анализъ Сейсельскаго асфальта *).

- | | |
|---|------|
| 1) Воды (выдѣляемой при 90° С.) | 1,90 |
| 2) Битума (веществъ, растворимыхъ въ сѣрнистомъ углеродѣ) | 8,00 |
| 3) Нераств. въ минеральныхъ кислотахъ остатка | 0,10 |

*) Анализъ сдѣланъ въ лабораторіи des Ponts et Ghaussées. (Paris).

4) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	0,15
5) CaCO_3	89,55
6) MgCO_3	0,20
7) Неопред. веществъ и потеря	0,20
	100,00

2) Мѣсторождение въ Val de Travers (Швейцарія, кантонъ Невшатель). Эти знаменитыя залежи были открыты, какъ намъ уже извѣстно, д-ръ Эйринисомъ въ XVIII столѣтіи, но правильная разработка ихъ началась въ 1850 году. Асфальтъ весьма высокаго качества и особенно пригоденъ для устройства мостовыхъ прессованнымъ способомъ. Концессія на эти залежи принадлежитъ до 1907 г. англійской компаніи. Анализъ асфальта изъ Валь-де-Траверъ.

1) H_2O	0,50
2) Битума	10,10
3) Нераств. въ минер. кисл. остатка	0,45
4) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	0,25
5) CaCO_3	87,95
6) MgCO_3	0,30
7) Неорган. веществъ и потери	0,45

3) Рагузскія залежи на островѣ Сициліи близъ города Рагузы принадлежатъ къ однимъ изъ богатѣйшихъ въ свѣтѣ. Однако содержаніе битума довольно неравномѣрно и утилизируется собственно руда 2-хъ качествъ: одна съ содержаніемъ 14% битума, а другая подъ названіемъ „gerbina“ съ 7% битума. Хорошіе результаты при работахъ прессованнымъ способомъ даетъ смѣсь этихъ двухъ сортовъ.

4) Залежи въ Лиммерѣ близъ Ганновера. Асфальтовая руда состоитъ здѣсь изъ пористаго, раковиднаго известняка юрской формации съ значительнымъ содержаніемъ битума (въ среднемъ 17%). Эта руда идетъ преимущественно для приготовленія асфальтовой мастики. Весьма сходна съ лиммерскою рудою руда изъ Форволи (въ Брауншвейгѣ). Къ разряду доломитовыхъ асфальтовыхъ рудъ относится прекраснаго качества асфальтъ изъ Абруццкихъ залежей (Италія, Son Valentino) разрабатываемыхъ англійскою компаніей Val de Travers для прессованныхъ работъ. Его составъ слѣдующій:

Битума	10,37%
CaCO_3	60,54%
MgCO_3	27,10
Остальн. веществъ	1,99

Русскія залежи асфальта. Наиболѣе важныя въ техническомъ отношеніи залежи асфальтоваго камня находятся въ Сызранскомъ уѣздѣ Симбирской губерніи. Эти мѣсторожденія были описаны еще въ 1772 г. извѣстнымъ Палласомъ. Разработка асфальта началось здѣсь съ 70 годовъ прошлаго столѣтія; первый асфальтовый заводъ былъ основанъ на правомъ берегу Волги при селѣ Печерскомъ О-мъ Сызранско-Печерской Асфальтовой и Горной Промышленности. На этомъ заводѣ фабрикуется асфальтовая мастика. Необходимый для этой фабрикаціи гудронъ получается на гудронномъ заводѣ того же т-ва (въ Жегулевскихъ горахъ, Сызранскаго уѣзда) изъ битумознаго песчаника, залежи котораго найдены также въ Сызранскомъ уѣздѣ. Какъ показываетъ нижеприведенный анализъ, сызранскій асфальтъ не уступаетъ асфальту лучшихъ иностранныхъ копей, а гудронъ, добываемый изъ битумознаго песчаника считается лучшимъ въ Европѣ. Анализъ асфальта сызранско-печерскаго о-ва (лабар. полит. инстит. въ Ригѣ).

Битума	8,62%
CaCO ₃	46,19%
MgCO ₃	37,43%
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	7,36
SiO ₂	0,40

Изъ другихъ мѣсторожденій русскаго асфальта слѣдуетъ упомянуть о Сюккеевскомъ (Казанская губернія вблизи г. Тетюшъ) и о Керченскомъ. Около города Керчи нѣсколько лѣтъ тому назадъ также организовался асфальтовый заводъ, доставляющій асфальтъ въ порты Чернаго и Азовскаго морей. Разработка асфальтоваго камня, смотря по глубинѣ его залеганія производится либо путемъ поверхностной разработки, либо помощью шахтъ, штольней и другихъ горнозаводскихъ приспособленій. Иногда приходится прибѣгать также къ порохоострѣльной работѣ.

Испытаніе асфальтоваго камня.

Такъ какъ достоинство асфальта главнымъ образомъ зависитъ отъ % содержанія битумозныхъ веществъ, то анализъ его обыкновенно состоитъ въ опредѣленіи общаго количества этихъ послѣднихъ. Для этой цѣли можно примѣнить два способа.

1) Высушенный при 120° измельченный въ порошокъ образецъ обрабатывается скипидаромъ, или сѣрнистымъ углеродомъ до полного растворенія битумозныхъ веществъ. Если полученный растворъ оставить стоять въ открытомъ, сосудѣ, то растворитель быстро испаряется и остается нелетучая при обыкновенной температурѣ, тягучая, коричневаго цвѣта масса. Эту массу взвѣшиваютъ и опредѣляютъ такимъ образомъ общее количество смоляныхъ веществъ. Послѣ

взвѣшиванія остатокъ нагрѣвають въ воздушномъ шкафѣ при $220-230^{\circ}\text{C}$. и опредѣляютъ по охлажденіи потерю въ вѣсъ; чѣмъ она менѣе, тѣмъ битумъ лучше (болѣе 2% потери не должно быть).

2) При другомъ способѣ анализа переводятъ въ растворъ не смолистую часть асфальтового камня, но известнякъ, обрабатывая для этой цѣли высушенной при 120°C . порошокъ соляною кислотою. Карбонаты при этомъ переходятъ въ растворъ, а битумъ собирается въ отдѣльные комья, которые собираютъ на взвѣшенный фильтръ, промываютъ, высушиваютъ и взвѣшиваютъ. Въ растворѣ можно опредѣлить известь, осаждавая ее въ видѣ щавелевокальціевой соли. Мы знаемъ, что хорошій асфальтовый камень долженъ быть также равномернo пропитанъ битумомъ; поэтому полезно изслѣдовать его еще подъ лупою или микроскопомъ.

Гудронъ.

Какъ намъ уже извѣстно, для производства работъ плавленнымъ или литымъ способомъ измельченный асфальтовый камень долженъ быть предварительно превращенъ въ такъ наз. асфальтовую мастику, представляющую смѣсь асфальтового камня съ гудрономъ. Гудрономъ мы называемъ вообще болѣе или менѣе чистые битумы естественнаго происхожденія или полученные путемъ нагрѣванія изъ битумозныхъ песчаниковъ, служащіе при производствѣ асфальтовыхъ работъ для облегченія расплавленія асфальта и для приданія асфальтовой мастики большей упругости. Выше было уже сказано, что самъ по себѣ безъ примѣси гудрона асфальтовый камень не плавокъ. Самый чистый природный гудронъ есть такъ наз. иудейская смола Мертваго моря; но по своей дороговизнѣ этотъ битумъ не употребляется для асфальтовыхъ работъ, а идетъ для фабрикаціи асфальтовыхъ лаковъ, сургуча и красокъ. Примѣняется также въ фотографіи, вслѣдствіе свойства терять послѣ дѣйствія свѣта способность растворяться въ терпентинѣ, CS_2 и др. Для полученія гудрона въ технику примѣняютъ либо такъ наз. гудронный камень, представляющій собою песчаникъ, пропитанный битумомъ, либо тринидатскій битумъ. У насъ въ Россіи для полученія гудрона и притомъ весьма высокаго качества, главнымъ образомъ служатъ битумозные песчаники (гудронный камень), богатѣйшія залежи которыхъ находятся въ Симбирской губерніи, Сызранскомъ уѣздѣ, въ Бохилонской дачѣ и принадлежатъ Сызранско-Печерскому О-ву Асфальтовой и Горной Промышленности. Составъ этого гудроннаго камня слѣдующій:

Битума	15,87%
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	1,03
SiO_2 и песка	83,10

Для извлеченія гудрона изъ этого камня, его измельчаютъ въ порошокъ и вывариваютъ въ желѣзныхъ котлахъ съ водою. Битумъ расплавляется, отдѣляется отъ породы и собирается на поверхность воды въ видѣ густой смолистой массы. Его счерпываютъ и для очистки подвергаютъ второй вываркѣ для удаленія воды и летучихъ веществъ. Анализъ гудрона 2-й выварки (по Когану):

Битума	90,98%
Углекислой извести . . .	1,22%
Кремнезема	7,36%

Кромѣ указаннаго мѣсторожденія въ Россіи извѣстны еще слѣдующія залежи гудроннаго камня: въ Озургетскомъ уѣздѣ, Кутанской губ., 2) около крѣпости Грозной, 3) въ селѣ Верхняя Орлянка, Бугурусланскаго уѣзда, Самарской губ. Последняя залежь эксплуатируется Орлянскимъ заводомъ инженера Михайловскаго. Вотъ анализы Орлянского песчаника и добытаго изъ него гудрона:

Асфальтовый песчаникъ.

Гудрона	22,02
Песку	74,94
Желѣзный колчед.	0,85
Раствор. минер. веществъ .	2,19

Гудронъ.

Битума	96,23
Глина и песокъ	3,77

Чистый гудронъ растворяется въ эфирѣ, терпентинѣ, сѣрнистомъ углеродѣ и хлороформѣ; цвѣтъ его черный съ розоватымъ отливомъ. Гудронъ обладаетъ пріятнымъ ароматическимъ запахомъ. Пары его въ противоположность парамъ газовой или древесной смолы — кашля не вызываютъ. Удѣльный вѣсъ 1,025 — 1,07. Гудронъ надлежащихъ качествъ должны быть твердымъ при 10°, до +20 упругимъ и эластичнымъ; выше +40 окончательно размягчается, а при 50° С. переходитъ въ жидкое состояніе. Въ виду того, что гудронные песчаники вообще рѣдко встрѣчаются, а въ Западной Европѣ они уже истощены, для полученія гудрона часто служатъ также такъ наз. тринидадскій битумъ. Этотъ матеріалъ образуетъ цѣлые асфальтовые рифы около острова Тринидада (изъ группы Антильскихъ острововъ) и представляетъ собою смѣсь чистаго битума съ глинистыми веществами: битума—34%, глинистыхъ веществъ—30%, воды—36%. Для очищенія его въ большомъ размѣрѣ вывариваютъ съ водою и переплавляютъ, послѣ чего получаютъ такъ наз. Trinidad épuré. Самъ по себѣ тринидадскій битумъ при нормальной t° не пригоденъ для асфальтовыхъ работъ. Для этой цѣли употребляютъ матеріалъ, называемый „goudron synthétique“, получаемый путемъ варки при 250° С. смѣси тринидада и тринидадскихъ остатковъ послѣ перегонки нефти, или буроугольного масла (75% тринидада и 25% буроугольного масла). Этотъ гуд-

ронъ по качествамъ уступаетъ гудрону, извлеченному изъ гудронныхъ песчаниковъ *).

Асфальтовая мастика.

Какъ намъ уже извѣстно, для производства асфальтовыхъ работъ литымъ способомъ (asphalt coulé) асфальтовую руду съ помощью гудрона превращаютъ въ плиты, называемыя асфальтовою мастикою или просто асфальтомъ. Для ея полученія асфальтовый камень, измельченный предварительно въ порошокъ, смѣшиваютъ въ цилиндрическихъ, снабженныхъ мѣшалками, котлахъ при t° около 180° С. съ надлежащимъ количествомъ гудрона. Когда масса совершенно расплавится и сдѣлается однородною, ее выливаютъ въ желѣзные формы (смазанные внутри глиною, жиромъ или известковымъ молокомъ) и получаютъ плиты съ клеймомъ фирмы, вѣсомъ около 2,2 пуда. (Заграницеу плиты вѣсятъ 20—25 кгр.). Хорошая мастика содержитъ около 18—20% чистаго битума. Анализъ асфальтовой мастики Сызранско-Печерскаго завода.

Битума	18,67%
CaCO_3	33,86%
MgCO_3	20,23%
Fe_2O_3	5,43%
Кремнезема и песка . .	21,81%

Для полученія асфальтовой мастики надлежащихъ качествъ весьма важно, чтобы прибавляемый гудронъ былъ по своему химическому составу и геологическому происхожденію однороденъ съ битумомъ, заключеннымъ въ порахъ асфальтоваго камня. Этому условію удовлетворяетъ напр. асфальтовая мастика Печерскаго завода, ибо гудронный песчаникъ, служащій для полученія гудрона находится вблизи залежей асфальтоваго известняка. Хорошая асфальтовая мастика должна при нагрѣваніи плавиться, но не распадается въ порошокъ. Она хорошо противодѣйствуетъ атмосфернымъ вліяніямъ, перемѣнамъ t° . Чѣмъ болѣе въ ней битума, тѣмъ она выше цѣнится, ибо тѣмъ болѣе можно добавлять гравія при варкѣ асфальта для работъ. Испытаніе асфальтовой мастики производится также какъ и асфальтоваго известняка.

Дороговизна природныхъ битумовъ давно уже вызвала желаніе замѣнить естественный асфальтъ искусственно приготовленнымъ. Такъ напр. извѣстный специалистъ асфальтоваго дѣла инженеръ L. Maló пробовалъ пропитывать известнякъ растворомъ битума въ сѣрнистомъ углеродѣ. CS_2 затѣмъ улетучивался, а въ порахъ известняка оставался битумъ. Также были сдѣланы попытки пропитыванія известняка чистымъ биту-

*) Ибо тринидадъ всегда содержитъ около 20—25% глины.

момъ подъ большимъ давленіемъ. Опыты эти не удались. У насъ въ Россіи въ большомъ количествѣ фабрикуется искусственный асфальтъ (Т-во Сызранскаго Асфальтоваго завода) изъ остатковъ, получаемыхъ какъ отбросъ при очищеніи нефтяныхъ маселъ кислотами. Эти остатки замѣняютъ при фабрикаціи мастики естественный гудронъ, употребляя все же въ качествѣ основного матеріала асфальтовый известнякъ. Но у насъ есть заводы, изготовляющіе мастику прямо изъ строительнаго мусора (известковая мелочь), сваривая его съ сгущенными нефтяными остатками и лишь для окраски добавляется при этомъ незначительное количество асфальтоваго порошка. Подобный искусственный асфальтъ во многомъ уступаетъ по качествамъ настоящей мастики. Онъ значительно менѣе противодѣйствуетъ атмосфернымъ вліяніямъ, быстрѣе изнашивается, проницаемъ для воды и газовъ и опасенъ въ пожарномъ отношеніи. Асфальтовая мастика, приготовленная изъ природныхъ матеріаловъ, безопасна въ пожарномъ отношеніи, ибо, во 1-хъ, главнымъ образомъ состоитъ изъ известняка (около 80%), матеріала не горючаго, и кромѣ того при накаливаніи выдѣляющаго CO_2 , какъ извѣстно даже способствующую тушенію пожара, а во 2-хъ, въ чистомъ битумѣ не содержится летучихъ маселъ, при нагреваніи онъ не воспламеняется, но выдѣляетъ густой дымъ. Между тѣмъ главная составная часть искусственныхъ асфальтовъ: нефтяные остатки, газовая смола и др. очень горючи. Бѣда была бы еще не такъ велика, если бы подобный искусственный асфальтъ продавался за таковой. Но къ сожалѣнію, у насъ, въ Россіи, онъ въ большинствѣ случаевъ сбивается за натуральный. Здѣсь мы уже имѣемъ дѣло съ фальсификаціей. Въ послѣднее время она приняла столь значительные размѣры, что побудила различные техническія о-ва ходатайствовать передъ правительствомъ, о принужденіи гг. фабрикантовъ выпускать свои продукты въ продажу подъ соответствующимъ обозначеніемъ: „искусственный“ или „натуральный асфальтъ“. Присвоеніе же наименованія „натурального“ различнымъ его суррогатамъ преслѣдовать, какъ мошенничество.

Отличить настоящую асфальтовую мастику отъ фальсифицированной можно: 1) по наружнымъ признакамъ, 2) по запаху и 3) по способу Hauenchild'a. Настоящая асфальтовая мастика въ свѣжѣмъ изломѣ землистаго вида, темно-шоколаднаго цвѣта съ ясно видными небольшими черными крапинками гудрона. Изломъ нефтяного асфальта поздравать и большей частью этихъ крапинокъ не видно. При нагреваніи настоящей мастики слышенъ довольно пріятный запахъ битума, не вызывающій кашля, какъ это имѣетъ мѣсто при нагреваніи искусственнаго асфальта. Способъ Hauenchild'a основанъ на различной растворимости естественнаго асфальта и искусственнаго (содержащаго газовую смолу, нефтяные остатки) въ 80° спиртѣ. Тогда какъ естественный асфальтъ почти нерастворимъ въ спиртѣ и при дигирированіи съ послѣднимъ сообщаетъ ему лишь слабо-желтый оттѣнокъ,—окраска отъ искусственнаго асфальта болѣе или менѣе темно-желтая, темно-бурая. Для произ-

водства опыта кусокъ асфальта нагревается до 200° С. и по охлажденіи измельчается. 1 граммъ порошка обрабатывается въ пробиркѣ 5 куб. сант.крьпкаго спирта (не слабѣе 80°). стряхнувъ нѣсколько разъ пробирку, даютъ жидкости отстояться. Уже при содержаніи лишь 2°/о нефти, газовой и т. п. смолы обнаруживается желтая окраска спирта и зеленовато-голубое флуоресцированіе жидкости. Приводимъ составъ нѣмецкаго и французскаго искусственнаго асфальта:

1. Нѣмецкій.		2) Французскій.	
12 килогр.	канифоли.	15 частей	асфальта.
18 „	газовой смолы.	35 „	песка.
56 „	молотого мѣлу.	130 „	порошк. известняка.
16,0 „	сухого песку.	160 „	песку мелкаго.

Способы производства асфальтовыхъ работъ.

Какъ было уже сообщено, въ настоящее время всѣ асфальтовые работы производятся двумя способами: 1) литымъ или плавленнымъ и 2) прессованнымъ.

Литой или плавенный способъ (Gussasphalt, asphalt coulé). Матеріалами для приготвленія плавленнаго асфальта служатъ: асфальтовая мастика, гудронъ и гравій. У насъ варка асфальта производится обыкновенно на мѣстѣ работы въ желѣзныхъ котлахъ, снабженныхъ топкою и дымовою трубою. Всѣмъ извѣстны недостатки этого способа: выдѣленіе густого дыма и загроможденіе улицъ. Поэтому за границею варка асфальта производится большею частью на заводахъ и готовую массу затѣмъ въ горячемъ состояніи въ особыхъ локомобияхъ, снабженныхъ топкою и мѣшалкою доставляютъ на мѣсто работы. Варка асфальта требуетъ отъ рабочихъ большой опытности и внимательности. Обыкновенно въ котель кладутъ сначала кусокъ гудрона (1/2 всего количества). Остальная часть гудрона и гравія добавляется затѣмъ по частямъ при непрерывномъ перемѣшиваніи. Температуру поддерживаютъ около 150° и не выше 170° С. Массу считаютъ готовою, когда погруженная въ нее лучина свободно вынимается изъ нея, безъ прилипшихъ частицъ массы. Гравій добавляют съ цѣлю увеличить твердость асфальта, устранить его размягченіе отъ дѣйствія солнечной теплоты и, наконецъ, по экономическимъ соображеніямъ. Гравій вѣдь значительно дешевле асфальта. Добавляемый при варкѣ асфальта гудронъ съ одной стороны облегчаютъ плавку, а съ другой возмѣщаетъ потерю нѣкоторой части битума, всегда имѣющую мѣсто при варкѣ. Гравій лучше всего рѣчной, величиною въ зерно гороха или боба; онъ долженъ быть хорошо перебитъ, не содержать землистыхъ и глинистыхъ частей и передъ примѣненіемъ высушенъ.

Пропорція сырыхъ матеріаловъ. Въ зависимости отъ чистоты гудрона, отъ назначенія асфальта и отъ величины зеренъ гравія, количество добавляемаго гудрона варьируетъ отъ 7 до 12% по вѣсу асфальтовой мастики. Относительное количество гравія зависитъ отъ климата и отъ назначенія работъ. Для климата средней Европы достаточно брать 50—60% гравія; для южныхъ же странъ, во избѣжаніе размягченія солнцемъ—1:1. Для средняго климата на 1 куб. метръ асфальтовой массы, смотря по плотности матеріаловъ берутъ 1500—1600 килогр. асфальтовой мастики;

700—800 „ гравія;

100 „ гудрона.

Для производства плавленнаго асфальта пригодны вообще всѣ природныя руды, лишь бы битумъ содержался въ достаточномъ количествѣ и не былъ летучъ при температурѣ варки.

Прессованный способъ. (Stampasphalt, asphalte comprimé). Какъ уже извѣстно, способъ основанъ на свойствѣ порошка асфальтоваго известняка въ нагрѣтомъ состояніи (110°—140°) уплотняться и соединяться въ одну монолитную, твердую, непроницаемую для воды массу подъ ударами горячихъ трамбовокъ или подъ дѣйствіемъ нагрѣтыхъ вальцовъ. Не всѣ асфальтовые руды пригодны для этого способа. Необходимо, чтобы онѣ удовлетворяли слѣдующимъ условіямъ: 1) известнякъ долженъ быть мелкозернистаго строенія, равномерно пропитанъ гудрономъ и не содержать болѣе 1% солей желѣза. 2) гудронъ, его пропитывающій, долженъ размягчаться при 20° и не долженъ становиться жидкимъ при 50°—60°. Этимъ условіямъ удовлетворяютъ весьма небольшое число изъ извѣстныхъ асфальтовыхъ камней: Валь-де-Траверъ, Сейссельскіе и нѣкоторые Сицилійскіе. Пригодность для данной цѣли русскихъ асфальтовыхъ известняковъ еще не выяснена окончательно. Работа при прессованномъ способѣ производится слѣдующимъ образомъ. На соответствующимъ образомъ подготовленномъ основаніи разстилается ровнымъ слоемъ, нагрѣтый до 110°—140° С., асфальтовый порошокъ и спрессовывается затѣмъ ударами трамбовокъ (вѣсомъ 25—30 килогр.) или укатывается нагрѣтыми вальцами (300—900 килогр.) до тѣхъ поръ пока толщина слоя насыпаннаго порошка (въ 7 сант.) не уменьшится на 2 сант. Послѣ этого поверхность асфальтовой настилки утюжатъ нагрѣтымъ кускомъ желѣза. Прежде нагрѣваніе порошка производили въ желѣзныхъ сковородахъ на мѣстѣ работъ; но затѣмъ, замѣтивъ, что разъ нагрѣтый порошокъ при транспортировкѣ мало теряетъ теплоты (разумѣется, при сравнительно небольшихъ разстояніяхъ: 8—10 верстъ), стали нагрѣвать порошокъ на заводѣ. Необходимо замѣтить, что асфальтовая настилка, получаемая по прессованному способу, въ значительной степени превосходитъ по крѣпости и непроницаемости полученную по плавленному способу.

Примѣненіе асфальта.

Наиболѣе важное примѣненіе асфальта для устройства мостовыхъ, троттуаровъ и половъ. Хорошая мостовая должна помимо дешевизны удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ: 1) хорошо сопротивляться истирающимъ усиліямъ, 2) не должна развивать пыли и грязи, 3) должна быть непроницаема для жидкостей, 4) обладать извѣстною эластичностью и 5) представлять по возможности меньше сопротивленій ѣздѣ. Всѣмъ этимъ требованіямъ удовлетворяетъ асфальтовая мостовая, но при соблюденіи двухъ условій: 1) надлежащей подготовки основанія и 2) устройства мостовыхъ въ болѣе оживленныхъ частяхъ городовъ не изъ плавленнаго асфальта, но изъ прессованнаго. Вслѣдствіе сравнительно незначительной крѣпости асфальта необходимо озаботиться объ устройствѣ надлежащаго основанія. Наилучшимъ образомъ приготовленный асфальтъ не можетъ быть долговѣчнымъ при плохомъ основаніи. Самымъ лучшимъ основаніемъ является бетонъ, но по своей сравнительной дороговизнѣ онъ у насъ рѣдко употребляется, хотя при устройствѣ асфальтовыхъ мостовыхъ въ сырыхъ мѣстахъ необходимо для фундаментовъ примѣнять бетонъ, ибо помимо крѣпости и ровности, основаніе подъ асфальтъ должно быть также непроницаемо для влаги, что особенно важно при способѣ прессовки (влага, проникая въ асфальтовый слой разрушаетъ связь между частицами спрессованнаго порошка). Вслѣдствіе этой же причины и примѣняемый бетонъ долженъ быть совершенно сухимъ. Толщина бетоннаго слоя находится въ зависимости отъ величины движенія на данной улицѣ и колеблется отъ 15 до 25 сант. Въ Берлинѣ, гдѣ асфальтовые мостовыя особенно хороши, толщина бетона дѣлается въ 20 сант. (на 170 кгр. цемента берутъ 1 куб. метр. гравія). Уклонъ асфальтовыхъ мостовыхъ въ виду ихъ скользкости не слѣдуетъ дѣлать свыше 1:60. У насъ чаще всего устраиваютъ кирпичное основаніе для асфальтовыхъ мостовыхъ. Если асфальтовые настилки не будутъ впослѣдствіи подвергаться давленіямъ большихъ тяжестей, (напр. во дворахъ) можно примѣнить подъ асфальтъ грубый песокъ или щебень. Наконецъ для самыхъ неотвѣтственныхъ работъ и въ совершенно сухихъ мѣстахъ можно допустить примѣненіе глины въ качествѣ матеріала для основанія. Глина имѣетъ свойство удерживать влагу и поглощать въ себѣ гудроны изъ асфальта. Въ настоящее время за границей всѣ асфальтовые мостовыя дѣлаются изъ прессованнаго асфальта, такъ какъ мостовыя изъ литого асфальта не выносятъ тяжелаго движенія, асфальтъ на нихъ скоро размягчается и дѣлается волнистымъ. Частыя неудачи при устройствѣ асфальтовыхъ мостовыхъ у насъ въ Россіи главнымъ образомъ и обусловливались примѣненіемъ литого асфальта. Послѣдній слѣдуетъ употреблять какъ матеріалъ для настилки лишь дворовъ, переулковъ и т. п. Передъ клинкеровыми и гранитными мостовыми, асфальтовая имѣетъ то преимущество,

что не вызываетъ значительнаго шума при ѣздѣ. Передъ деревянными преимущество асфальтовыхъ мостовыхъ заключается въ большей гигиеничности и въ большей безопасности отъ пожара. Асфальтовая мостовая представляетъ собою сплошную, непроницаемую настилку, между тѣмъ, какъ дерево, состоя изъ волоконъ, легко впитываетъ воду, нечистоты и затѣмъ гниетъ. Какъ мы уже видѣли асфальтъ не только не горитъ пламенемъ, но способствуетъ даже прекращенію пожара. Въ этомъ смыслѣ полы и мостовыя изъ асфальта вполне безопасны; но это только при непремѣнномъ условіи примѣненія настоящаго асфальта. Искусственный асфальтъ, состоя изъ столь горючихъ матеріаловъ, какъ нефть и газовая смола, разумѣется, долженъ считаться однимъ изъ опаснѣйшихъ въ пожарномъ отношеніи матеріаловъ. Доказательство — грандіозный пожаръ въ Чикаго (1871 г.), при которомъ сгорѣлъ весь городъ, ибо горѣли также и мостовыя, въ составъ которыхъ входили главнымъ образомъ легко летучія смолы, нефть и т. п.

Асфальтовые плитки. Въмѣсто устройства мостовыхъ, троттуаровъ, половъ и т. п. изъ сплошнаго асфальта иногда примѣняютъ готовые плитки, изготовляемыя заводами подобно асфальту comprimé; т. е. порошокъ асфальтоваго известняка нагревается до 110°—140° и прессуется затѣмъ въ формахъ подъ давленіемъ 500—600 килогр. на квадр. сант. Обыкновенная величина такихъ плитъ 1½—2 фута въ квадратъ при толщинѣ ¾—1½". Подобныя плитки могутъ быть уложены обыкновенными каменщиками на соотвѣтственно подготовленномъ основаніи. Укладываютъ ихъ по бетонному основанію отъ 8 до 10 сант. толщиною. На него насыпаютъ слой песка, утрамбовываютъ и, наконецъ, укладываютъ асфальтовые плиты. Швы заливаются гудрономъ или чистымъ цементомъ. Для троттуаровъ и половъ плитки эти иногда дѣлаются съ рифленною поверхностью. Мостовая изъ подобныхъ плитъ, однако уступаетъ по крѣпости мостовой изъ сплошнаго монолитнаго асфальта и поэтому плиты слѣдуетъ примѣнять для замощенія улицъ при не особенно оживленномъ движеніи.

Асфальтовый бетонъ представляетъ собою асфальтовую массу, въ которую втрамбованы и впрессованы куски щебня. Асфальтовую мастику хорошо вывариваютъ съ пескомъ и по горячему еще асфальту разбрасываютъ и затѣмъ впрессовываютъ чистый щебень, нагрѣтый предварительно на желѣзныхъ сковородахъ приблизительно до t° асфальтовой массы. Асфальтовый бетонъ можетъ служить для устройства мостовыхъ и для фундаментовъ подъ паровыя, электрическіе и другіе двигатели. Обладая достаточною крѣпостью, подобный фундаментъ кромѣ того слегка эластиченъ, вслѣдствіе чего смягчаются сотрясенія отъ движенія машинъ, часто производящія разрушенія въ фундаментахъ, а иногда не безопасныя и для зданій. Кромѣ вышеизложенныхъ примѣненій, асфальтъ съ пользою можетъ служить еще въ

качествъ изолирующаго слоя, для предохраненія зданія отъ почвенной сырости. Когда фундаментъ готовъ до высоты цоколя, то весьма полезно наложить по всей его поверхности непрерывный слой жирнаго асфальта (много гудрона). Изъ асфальта, наконецъ, устраиваютъ террасы, крыши, бассейны, резервуары. Онъ нашелъ также примѣненіе въ фотографіи, для приготовленія огнеупорныхъ асфальтовыхъ лаковъ, для изоляціи укладываемыхъ въ землѣ электрическихъ проводовъ и т. д.

ГИПСЪ.

Въ минералогическомъ смыслѣ слова гипсъ есть сѣрноокислый кальцій съ двумя частицами конституціонной воды: $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. Химически чистый гипсъ содержитъ CaO : 32,56%; SO_3 : 46,51% и H_2O : 20,93%. Гипсъ весьма распространенъ въ природѣ и встрѣчается или въ видѣ кристалловъ, или въ видѣ сплошной массы землистаго, чешуйчатого (пѣнистый гипсъ) или волокнистаго сложенія. Чистыя гипсовыя породы бѣлаго цвѣта, но чаще встрѣчаются породы, окрашенные окислами желѣза въ различныя цвѣта отъ краснаго до сѣраго. Мелкозернистый, безцвѣтный и просвѣчивающій гипсъ называется алебастромъ. Алебастромъ называютъ также въ строительной практикѣ обожженный гипсъ. Въ природѣ встрѣчается также безводный сѣрноокислый кальцій, обыкновенно сопровождающій залежи настоящаго гипса. Безводный гипсъ называется ангидритомъ (CaSO_4). Ангидритъ однако не имѣетъ способности обожженнаго гипса отвердѣвать съ водою и поэтому въ строительной практикѣ значенія не имѣетъ. Иногда гипсъ образуетъ въ природѣ цѣлыя горы, напр. въ Гарцѣ, около Нордгаузена. Въ Россіи извѣстны богатые залежи гипса по Волгѣ у Казани (казанскій гипсъ), по Западной Двинѣ (рижскій гипсъ), въ Подольской губ., въ Бахмутскомъ уѣздѣ Екатеринославской губ., на западномъ склонѣ Урала и въ другихъ мѣстахъ. Твердость гипса незначительна (1,5—2) Уд. в. 2,3. Гипсъ мало растворимъ въ водѣ: 1 часть гипса ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) растворяется при 18° С. въ 386 ч. воды. Легче гипсъ растворяется въ растворахъ нашатыря и весьма легко въ концентрированномъ растворѣ сѣрноватисто-натріевой соли.

Примѣненіе гипса. Важнѣйшія примѣненія гипса въ строительной практикѣ основаны на свойствѣ *обожженнаго* гипса при смѣшеніи съ водою давать тѣсто быстро твердѣющее на воздухѣ; безводный гипсъ, при этомъ, вновь присоединяетъ къ себѣ воду, увеличиваясь въ объемѣ. Примѣненіе гипса въ качествѣ строительнаго раствора, т. е. для связыванія камней и кирпича было извѣстно еще въ глубокой

древности въ Египтѣ. Это доказываютъ изслѣдованія отвердѣвшихъ растворовъ, взятыхъ изъ Хеопсовой пирамиды. У насъ гипсовые строительные растворы мало распространены и употребляются исключительно при кладкѣ очень пологихъ сводовъ, *) не допускающихъ осадки (гипсовый растворъ весьма быстро отвердѣваетъ). Густой гипсовый растворъ получаютъ смѣшивая 8 ч. обожженного гипса съ 5 ч. воды и жидкій—8 ч. гипса съ 11 ч. воды. Гипсовый растворъ необходимо употреблять въ дѣло до начала схватыванія, а такъ какъ онъ принадлежитъ къ матеріаламъ весьма быстро схватывающимся, **) то затворять гипсъ слѣдуетъ лишь небольшими порціями.

Обыкновенно гипсъ прибавляютъ къ известковымъ растворамъ, назначеннымъ для оштукатурки потолковъ и деревянныхъ перегородокъ, а также для тяги карнизовъ, ибо примѣсъ гипса, ускоряя отвердѣванія растворовъ, увеличиваетъ еще ихъ сцепленіе съ деревомъ и придаетъ большую гладкость оштукатуренной поверхности. Растворъ изъ чистаго гипса служитъ для отливки орнаментовъ, статуетокъ и другихъ декоративныхъ и лѣпныхъ украшеній, а также для отливки строительныхъ камней, служащихъ для устройства легкихъ переборокъ. Вслѣдствіе свойства расширяться при затвердѣваніи, гипсъ заполняетъ мельчайшія углубленія формы и потому точно передаетъ очертанія ея внутренней поверхности. Какъ намъ уже извѣстно, гипсъ служитъ также для изготовленія формъ, примѣняемыхъ при фабрикаціи строительныхъ камней, фаянсовыхъ и фарфоровыхъ издѣлій и др. Легко изготавливаемые и изящные на видъ, гипсовые украшенія и издѣлія, не свободны однако и отъ недостатковъ. Гипсовые издѣлія нельзя мыть водою, ибо пыль при этомъ вмѣстѣ съ водою проникаетъ въ поры гипса. Для очистки гипсовыхъ украшеній отъ пыли, ихъ приходится обмазывать густымъ крахмальнымъ клейстеромъ. Послѣдній, высыхая, отваливается самъ собою, вмѣстѣ съ приставшимъ къ нему слоемъ грязи. Чтобы имѣть возможность мыть гипсовые издѣлія на ихъ поверхности образуютъ слой нерастворимой сѣрнобаріевой соли или кремнезема, покрывая ихъ въ первомъ случаѣ баритовою водою, а во второмъ растворомъ кремневой кислоты, полученнымъ путемъ діализа. Съ этою же цѣлью можно пропитывать гипсовые издѣлія также расплавленнымъ стеариномъ или парафиномъ. При этомъ гипсъ одновременно пріобрѣтаетъ болѣе теплый желтоватый тонъ, теряетъ свою порозность, хорошо принимаетъ политуру и труднѣе загрязняется. Вмѣсто того, чтобы пропитывать гипсовые издѣлія расплавленнымъ стеариномъ или парафиномъ, можно также примѣнять растворы подслѣднихъ тѣлъ въ нефтяномъ эфирѣ.

*) Также небольшихъ сводовъ безъ кружалъ.

**) Если объемъ воды менѣе объема алебаstra, то растворъ отвердѣваетъ почти мгновенно, а если болѣе, то въ 5—10 минутъ.

Гипсовые издѣлія отличаются вообще незначительною крѣпостью. По Тетмайеру сорта швейцарскаго гипса обнаружили слѣдующія сопротивленія разрыву спустя 7 дней по затворнѣію—11,8 кгр.; спустя 28 дней—19,3 кгр. и спустя 84 дня—23,1 кгр. Сопротивленіе раздавливанію выразилось слѣдующими цифрами:

55,6 кгр. на кв. см. послѣ 7 дней,

83,2 " " " " послѣ 28 дней,

12,7 " " " " послѣ 84 дней.

Для увеличенія прочности и крѣпости гипса могутъ служить слѣдующія средства. Куски обожженнаго гипса пропитываютъ растворомъ квасцовъ (1:12), высушиваютъ и вновь обжигаютъ при красномъ каленіи, измельчаютъ и полученный порошокъ *) при отливкѣ разводятъ воднымъ растворомъ квасцовъ, вышеуказанной крѣпости. По отвердѣваніи получается фабрикатъ хорошо полирующійся и обладающій также значительною крѣпостью. Если вмѣсто раствора квасцовъ брать растворъ буры (1 : 9) и поступать по предъидущему, то получимъ т. н. цементъ-паріанъ.

Если затворить гипсъ на водѣ, въ которой распущенъ столярный клей—то скорость схватыванія гипса значительно замедляется; вмѣстѣ съ тѣмъ гипсовые издѣлія пріобрѣтаютъ большую твердость и наружный видъ, нѣсколько напоминающій мраморъ. Эти издѣлія и извѣстны подъ названіемъ гипсоваго мрамора, или стюка. (Stucco). Стюкъ часто получаютъ также цвѣтнымъ, примѣшивая къ гипсу краски, напр. сажу, индиго, колыотаръ и т. п. Подобно столярному клею, бура также замедляетъ отвердѣваніе гипса, а квасцы, наоборотъ, его ускоряютъ. Замедляетъ отвердѣваніе также присутствіе спирта въ водѣ, взятой для затворенія.

Скаглиоломъ (Scagliola) называютъ затворенную на клеевой водѣ гипсовую массу, полученную изъ смѣси обожженнаго гипса съ необожженнымъ (гипсовый шпатъ). Изъ этой массы изготовляютъ плиты, служащія для устройства легкихъ потолковъ и переборокъ.

Гипсовый бетонъ (Gyps pisébau) въ окрестностяхъ Парижа и на Гарцѣ служитъ не только для устройства внутреннихъ перегородокъ и т. п. внутреннихъ неответственныхъ построекъ, но изъ него сооружаютъ цѣлые дома, даже фабричныя дымовыя трубы. Камневидной составляющей для гипсоваго бетона служатъ остроугольный чистый песокъ, кирпичный щебень и т. п. При приготовленіи бетона, кладутъ сначала въ форму куски балласта и промежутки между по-

*) Извѣстный въ продажѣ подъ названіемъ цемента Кина (Keene).

слѣдними заливаютъ затѣмъ растворомъ изъ 2 частей гипса, *) 1 ч песка и $1\frac{1}{2}$ частей воды. Стѣны изъ гипсового бетона необходимо тщательно изолировать отъ почвенной сырости—слоемъ цемента, гидравлической извести, или асфальта. Гипсовый бетонъ примѣняютъ также для изготовленія разнообразныхъ строительныхъ камней, отъ которыхъ не требуютъ значительной крѣпости и прочности.

Всѣ вышеизложенныя примѣненія гипса въ строительномъ дѣлѣ—относятся къ обожженному гипсу. Въ необожженномъ видѣ гипсъ не имѣетъ примѣненія въ строительной техники и служитъ или для удобрения полей (въ молотомъ видѣ), либо для изготовленія вазъ, статуетокъ и т. (природный алебастръ и волокнистый гипсъ).

Фабрикація строительнаго гипса.

Фабрикація строительнаго гипса крайне несложна и состоитъ изъ обжига природнаго гипса и послѣдующей затѣмъ операціи измалыванія въ порошокъ.

Обжигъ гипса является весьма ответственной операціей. Такъ какъ послѣ этой операціи природный гипсъ собственно и приобретаетъ необходимыя строительныя качества. Такъ какъ цѣль обжига состоитъ лишь въ удаленіи конституціонной воды, то t^0 при обжигѣ не превосходитъ 200^0 С. Чѣмъ ближе t^0 при обжигѣ приближалась къ этому предѣлу, тѣмъ менѣе отвердѣваетъ гипсовый растворъ. При t^0 около 300^0 С. получается продуктъ уже не способный, подобно природному ангидриту соединяться вновь съ водою. Это т. н. мертво-обоженный гипсъ. Дабы избѣжать полученія подобнаго недѣятельнаго гипса обезвоживаніе его при обжигѣ не доводятъ до конца и обыкновенно оставляютъ въ гипсѣ около 3—5% воды. Пережечь гипсъ можно однако не только ведя обжигъ при температурѣ превышающей норму, но и продолжительнымъ нагрѣваніемъ при сравнительно низкой температурѣ. По Потылицыну существуютъ два изомерныя видоизмѣненія безводной сѣрнокальціевой соли, изъ которыхъ одно (1) имѣетъ меньшій удѣльный вѣсъ и легче присоединяетъ воду, чѣмъ другое (2). Этого второго видоизмѣненія образуется тѣмъ больше, чѣмъ температура, при которой произведено обезвоживаніе была выше и чѣмъ медленнѣе было произведено самое обезвоживаніе. Такъ напр. при обезвоживаніи гипса при температурѣ 300_0 образуется главнымъ образомъ соль 2. Тоже самое можетъ произойти, если обезвоживаніе было произведено при тем-

*) Гипсъ для приготовленія бетона въ этомъ случаѣ долженъ быть обожженъ сильнѣе обыкновеннаго. При болѣе возвышенной t^0 обжига ($270—300^0$ С.) гипсъ приобретаетъ отчасти гидравлическія свойства, а слѣдовательно и болѣешую устойчивость относительно атмосферной влажности.

пературѣ 100 и 200°, но оно было продолжительно. „Наиболѣе пригоднымъ для практическихъ цѣлей (т. е. хорошо затвердѣвающий при гашеніи въ теченіе небольшого но и не чрезчуръ короткаго промежутка времени) будетъ гипсъ, представляющій смѣсь α и β видоизмѣненій въ извѣстномъ количественномъ отношеніи, другими словами гипсъ, получающійся непродолжительномъ обжиганіемъ при нѣкоторой температурѣ, находящейся между 100° и 200—250°, какъ это давно и признано практикой“ (Потылицынъ). Для небольшихъ заготовокъ, гипсъ раздробленный въ мелкіе куски обжигаютъ въ чугунныхъ котлахъ или въ обыкновенныхъ русскихъ хлѣбопечныхъ печахъ, предварительно нагрѣтыхъ до темно-краснаго каленія и очищенныхъ отъ золы. Для обжиганія большихъ количествъ гипса, для строительныхъ цѣлей, примѣняются шахтные печи съ длиннымъ пламенемъ (дрова, хворостъ, каменный уголь). Печи съ короткимъ пламенемъ, т. е. въ которыхъ слой топлива чередуется со слоемъ обжигаемаго вещества въ данномъ случаѣ непримѣнимы, ибо гипсъ легко восстанавливается при возвышенной температурѣ углемъ въ сѣрнистый кальцій. На фиг. 318 изображена періодическаго дѣйствія шахтная печь съ длиннымъ пламенемъ (дрова и хворостъ), служащая для обжига гипса. На подѣ 4-хъ угольной или круглой кирпичной камеры, покрытой сводомъ, устраиваютъ изъ крупныхъ кусковъ гипса нѣсколько продольныхъ очелковъ а. Въ этихъ очелкахъ разводять огонь и сверхъ ихъ загружаютъ слой болѣе мелкаго гипса. Обжигъ длится около 12 часовъ. Недостатокъ этого рода печей: неравномѣрность обжига и загрязненіе получаемаго гипса сажей и золою. Болѣе чистый продуктъ получается въ муфельныхъ камерныхъ печахъ, обогреваемыхъ снаружи продуктами горѣнія. Для непрерывнаго обжига гипса предложены вращающіяся горизонтальныя реторты, снабженныя мѣшалками, въ которыхъ обжигаемый гипсъ непрерывно входитъ съ одного конца и выходитъ съ другого или длинная обогреваемая извнѣ камеры, въ которыхъ обжигаемый гипсъ въ желѣзныхъ вагонеткахъ вкатывается въ одинъ конецъ печи и выходитъ уже обожженнымъ съ другого конца. Обожженный гипсъ сортируютъ, очищаютъ отъ копоти и сажи проволочными щетками, размалываютъ подъ бѣгунами, если требуется—просѣиваютъ и затѣмъ укомпориваютъ въ бочки или мѣшки. При храненіи гипса, его, разумѣется, необходимо предохранять отъ вліянія атмосферной сырости.

Испытанія продажнаго обожженнаго гипса.

Такъ какъ пережженный гипсъ, характеризуется отсутствіемъ воды и большимъ удѣльнымъ вѣсомъ (2.926), чѣмъ нормально обожженный (у. в.=2.889), то прежде всего слѣдуетъ опредѣлить содержаніе въ гипсѣ воды и удѣльный вѣсъ. Въ нормально обожженномъ гипсѣ, должно содержаться отъ 3—5% воды. Воду опредѣляютъ по потерѣ въ

всѣхъ гипса, послѣ прокаливанія его въ тиглѣ. Чѣмъ чище гипсъ, тѣмъ лучше. Различныя примѣси: песокъ, глину, колчеданъ, углекислую известь и т. п. легко обнаружить, отмучивая измельченный порошокъ гипса съ водою. Примѣси эти въ водѣ нерастворимы. Хорошій гипсъ долженъ быть жиренъ на ошупь, образовать съ водою нѣжное тѣсто. Если отвердѣвшій гипсъ вновь растереть въ порошокъ и смѣшать съ водою, то онъ снова твердѣетъ, хотя и не столь энергично, какъ въ первый разъ. Хорошіе сорта гипса допускаютъ повторять эту операцію 4—5 разъ.

Приложеніе, на которое дѣлаются ссылки въ курсѣ, выйдетъ отдѣльнымъ оттискомъ чертежей съ 191 по 200, 207 и 218 по 332 будутъ помѣщены въ приложеніи въ отдѣлѣ: „Химическій анализъ и изслѣдованіе микро-структуры“.



Литература ко 2-й части Технологіи строительныхъ матеріаловъ.

Руководства общаго характера.

Эвальдъ. Строительные матеріалы. *Krüger. Handbuch der Baustofflehre. Gottgetren. Physiche und chemische Beschaffenheit der Baumaterialien, Glinzer. Kurzgefasstes Lehrbuch der Baustoffkunde.*

Руководства спеціальныя.

Жельзо. *Ledebur Eisen und Stahl in ihrer Anwendung. Ledebur.* Жельзо и сталь (перев. Краснова). *De Vathaire. Устройство и веденіе доменныхъ печей. Ledebur. Lehrbuch der mechanisch-metallurg. Technologie. Де-Билли. Производство грунта. Калакуцкий. Изслѣдованія внутреннихъ напряженій въ чугуны и стали. Ledebur. Механическая технология металловъ, пер. Боровичъ. Ledebur. Металлургія чугуна, желѣза и стали (пер. подъ редакціей проф. Юсса). Матвѣевъ. Жельзное дѣло въ Россіи. Сонгинъ. Сталь какъ матеріалъ для строительнаго дѣла. Юнтнеръ-фонъ-Консторфъ. Соотношеніе между химическимъ составомъ и физическими свойствами желѣза и стали. Ферстеръ. Металлическія конструкціи. Лауэнштейнъ. Жельзные части зданій. Ledebur. Руководство къ химическому изслѣдованію предметовъ жельзнаго производства. Куклинъ. Руководство къ анализу чугуна, желѣза, стали. Веддингъ. Способы изслѣдованія желѣза. Ржевомарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза, стали и чугуна. Семенчиковъ-Давыдовъ. Прѣдлѣженіе микроскопической металлографіи къ производству рудъ и чугуна.*

Дерево. Армайтъ. Русскій лесъ. Кайгородовъ. Бесѣды о русскомъ лесѣ. Германовъ. Труды вѣдущихъ по вопросу о предохраненіи дерева. Ларкинъ. Бесѣды о деревѣ. Калмикова. Къ вопросу о средствахъ для предохраненія дерева. Гельмер. *Mittheilung der Materialprüfungs, Anstalt. am Schweiz Pat. in Zürich. Бурдальевъ. Матеріалы для курса строительныхъ работъ: Дерево. Притч. Штаты на русскихъ жельзныхъ дорогахъ. Палладинъ. Анатомія растений.*

Естественные камни. Глинка. Каменные строительные матеріалы. *Beier. Der Granit. Иностранцевъ. Геологія. Reinisch. Petrographisches Praktikum. Федоровъ. Основанія петрографіи. Rinne Gesteinskunde.*

Асфальтъ. Коганъ. Асфальтъ и его примѣненіе. Спорный. Асфальтъ и битумы и техническое ихъ приложеніе. *Leep. Der Asphalt. Köhler. Die Chemie und Technologie der natürlichen Asphalt.*

ВАЖНѢЙШІЯ ОПЕЧАТКИ.

На стр. 35 пропущено обозначеніе чертежа печь Shofre'a.

На стр. 37 фиг. 23 не помѣщена въ атласъ, за невозможн. достать оригинальнаго чертежа (по независящимъ отъ издателя обстоятельствомъ).

Оглавление.

Часть I.

Технологія строительныхъ растворовъ.

ВВЕДЕНИЕ.

СТР.

Общее понятие о строительныхъ растворахъ. Историческій ходъ развитія техники строительныхъ растворовъ. Растворы воздушные и гидравлическіе. Мюнхенская классификація гидравлическихъ вяжущихъ веществъ

Воздушные растворы.

Известь. Теорія отвердѣванія воздушнаго раствора. Обжигъ известняковъ. Известково-обжигательныя печи. Напольныя печи. Постоянныя печи. Периодическая печь съ короткимъ пламенемъ. Периодическая известково-обжигательная печь для топлива съ длиннымъ пламенемъ. Непрерывно-дѣйствующая известково-обжигательная печь съ короткимъ пламенемъ. Непрерывно-дѣйствующая печь съ длиннымъ пламенемъ. Газовыя известково-обжигательныя печи. Сравнительная таблица расхода топлива въ различныхъ известково-обжигательныхъ печахъ. Сравненіе различныхъ типовъ известково-обжигательныхъ печей. Расчетъ шахтной известково обжигательной печи непрерывнаго дѣйствія. Выходъ ѣдкой извести. Гашеніе ѣдкой извести. Храненіе ѣдкой извести и пушонки 11

Составленіе воздушнаго раствора. Крѣпость воздушнаго раствора. Приготовленіе воздушныхъ растворовъ 33

Технологическій контроль фабрикаціи воздушнаго раствора. Изсѣдваніе известняковъ. Аппаратъ Scheibler-Frühling'a. Аппаратъ Lange-Marchlewski'а ѣдкой извести (кипѣлка). Контроль обжига. Гашеніе ѣдкой извести (пушонки). Испытаніе воздушнаго раствора 36

Примѣненіе известково-воздушнаго раствора 46

Глиняный растворъ 47

Гидравлическіе растворы.

Портландъ-цементъ. Гидравлическій модуль	50
<i>Общій ходъ фабрикаціи искусственнаго портландъ-цемента.</i> Сырые матеріалы. Химико-техническое изслѣдованіе сырыхъ матеріаловъ. Вычисленіе пропорціи цементной смѣси на основаніи данныхъ химическаго анализа. Смѣшиваніе сырыхъ матеріаловъ. Формовка сырца. Сушка сырца Обжигъ сырца. Цементно-обжигательныя печи. Періодически дѣйствующая шахтная печь. Непрерывно дѣйствующая этажная шахтная печь Dietsch'a. Непрерывно-дѣйствующая шахтная обжигательная печь системы Шефера. Кольцевая камерная печь Гофмана. Вращающіяся цементныя печи. Сортировка клинкера. Измельченіе клинкера. Машины для раздробленія: Камне-дробилки. Дробильныя вальцы. Вѣгуны. Механическая ступка. Жернова. Шаровая мельница. Трубчатая мельница. Маятниковыя мельницы. Отсѣиваніе цемента. Магацинированіе цемента. Вспомогательныя приборы при фабрикаціи цемента. Передаточныя механизмы. Уловливатели пыли	57
<i>Описаніе хода работъ на нѣкоторыхъ типичныхъ заводахъ портландъ-цемента.</i> Заводъ портландъ-цемента въ Willdegg'ъ возлѣ Aarau (Швейцарія). Заводъ портландъ-цемента въ Klagstorp'ѣ	85
<i>Техническій контроль производства портландъ-цемента.</i> Физико-механическія свойства портландъ-цемента и методы ихъ опредѣленія. Внѣшній видъ. Удѣльный вѣсъ. Объемомѣръ Шумана. Объемомѣръ Лешателье-Кануло. Объемомѣръ Эдменгера-Манна. Объемомѣръ Зегера. Объемомѣръ Mayer-Malstatt'a. Опредѣленіе объемнаго вѣса портландъ-цементовъ. Тонкость помола. Скорость схватыванія портландъ-цемента. Приборъ Вика-Тетмайера. Условія постоянства объема. Проба на деформацию или на постоянство объема. Проба нагрѣваніемъ въ въ теплой или кипящей водѣ. Проба накаливаніемъ. Аппаратъ Баушингера. Пористость. Опредѣленіе водопроницаемости. Испытаніе портландъ-цемента на механическое вывѣтриваніе. Испытаніе на морозъ. Отношеніе цемента къ механическимъ усиліямъ. Крѣпость цемента. Приготовленіе образцовъ изъ смѣси цемента съ нормальнымъ пескомъ. Испытаніе на разрывъ. Испытаніе на сжатіе. Испытаніе на изгибъ. Испытаніе на связываніе или на силу сцѣпленія съ посторонними тѣлами. Испытаніе на стираніе	86
<i>Химическій анализъ портландъ-цемента</i>	131
<i>Строеніе и теорія тверднѣнія портландъ-цементовъ</i>	145
<i>Примѣненіе портландъ-цементовъ.</i> Приготовленіе гидравлическихъ строительныхъ растворовъ изъ портландъ-цементовъ. Песокъ. Вода. Пропорція составныхъ частей раствора портландъ-цемента. Способъ приготовленія цементнаго раствора. Элементарныя правила при употребленіи гидравлическихъ растворовъ. Смѣшанные цементно-известковые растворы. Примѣненіе портландъ-цемента для приготовленія цементныхъ половъ. Цементныя плиты. Черепицы. Цементныя трубы	155
Бетонъ. Составныя части бетона и ихъ вліяніе на его свойства. Балластъ. Количество воды. Относительная пропорція цемента, песку и баласта. Выходъ бетона. Ручное производство бетона. Механическое приготовленіе бетона. Нѣкоторыя физическія свойства бетона, имѣющія важное значеніе въ технику. Сопротивленіе бетона механическимъ усиліямъ. Сопротивленіе бетонныхъ трубъ. Примѣненіе бетона . . .	166

Желѣзо бетонъ.

<i>Краткій историческій очеркъ</i>	175
<i>Желѣзо-бетонныя системы. Желѣзо-бетонная система Неппе- biqu'a. Плиты. Полы съ балками. Арки и своды. Желѣзо-бетонные столбы. Желѣзо-бетонныя стѣны. Трубы</i>	178
<i>Матеріалы для производства желѣзо-бетонныхъ конструкций. Це- ментъ. Балластъ. Металлъ. Способы возведенія желѣзо-бетонныхъ соо- руженій. Сопротивленіе желѣзо-бетона механическимъ усиліямъ. Испы- таніе желѣзо-бетонной конструкции при пріемкѣ. Разсчетъ желѣзо-бе- тонныхъ сооружений. Дѣйствіе возвышенной температуры на бетонъ и желѣзо-бетонъ. Дѣйствіе морской воды на цементные растворы .</i>	182

Гидравлическія добавки.

<i>Гидравлическія добавки естественнаго происхо- жденія. Пуццоланы.—Трасъ—Санторинская земля. Технические свойства и испытанія гидравлическихъ добавокъ</i>	192
<i>Искусственныя гидравлическія добавки или це- мяни. Шлаковый цементъ. Свойства и испытанія шлакового цемента. Примѣненія шлакового цемента. Приготовленіе шлакового цемента на заводахъ Carl-Emilie въ Hütte Königshofъ. Фабрикація шлакового цемента на чугунно-плавильномъ заводѣ Kraft въ Kratzwick'ѣ</i>	197
<i>Гидравлическая известь. Обжигъ мергеля. Гашеніе. Свойства ги- дравлическихъ извести и ихъ испытаніе</i>	206
<i>Романъ-цементъ. Свойство романъ-цемента</i>	210
<i>Доломитовый цементъ.—Песчаный цементъ</i>	213

<i>Литературные источники</i>	214
---	-----

Технологія искусственныхъ строительныхъ камней.

Строительные матеріалы изъ глины.

<i>Глина. Отношеніе глины къ возвышенной температурѣ. Клас- сификація глинъ. Мѣстонахожденія глины. Испытаніе глины</i>	216
<i>Химическій анализъ глины. Рациональный анализъ по Зегеру. Суммарный анализъ. Механический анализъ. Отмучиваніе. Определе- ніе степени пластичности глины. Определеніе степени усыхания глины. Определеніе огнеупорности глины. Определеніе водопоглощаемости. Определеніе цвѣта. Определеніе пористости. Определеніе удѣльнаго и объемнаго вѣса</i>	229
<i>Фабрикація глиняныхъ строительныхъ камней. Классификація глиняныхъ фабрикатовъ</i>	244
<i>Добываніе глины. Предварительная подготовка матеріала. Раз- рыхленіе. Вымачиваніе глины. Гноеніе глины. Очищеніе глины путемъ отмучиванія. Смѣшиваніе. Измельченіе матеріала. Отжиганіе. Мятые глины</i>	245

Формовка глиняного фабриката Мокрый способъ, Ручная формовка. Машинная формовка. Ленточные пресса. Поршневые пресса. Улитковые пресса. Вальцовыя формовочныя машины. Ящичные пресса. Револьверный черепичный прессъ 252

Сушка сырца. Пѣлъ сушки. Нежелательныя явленія при сушкѣ сырца. Сухая прессовка глиняныхъ издѣлій. Преимущество сухого прессованія 259

Обжигъ и обжигательныя печи. Периодическія печи. Напольная печь. Стѣнная печь. Голландская кирпичеобжигательная печь. Кассельская печь. Печи непрерывнаго дѣйствія. Кольцевая печь. Канальная или тунельная печь. Муфельная печь. Газовыя печи. Печи Швандорфа и Мейдгейма. Контроль обжига 263

Описаніе хода работъ на кирпичедѣлательномъ заводѣ. Описаніе кирпичедѣлательнаго завода, работающаго по мокрому способу. Описаніе кирпичедѣлательнаго завода, работающаго по сухому способу 278

Глиняные фабрикаты. Стѣнной кирпичъ. Обыкновенный кирпичъ. Гурдисъ. Пористый кирпичъ Облицовочный кирпичъ. Лекальный или фасонный кирпичъ 280

Материалы для устройства кровель. Черепица. Фабрикація черепицы. Формовки черепицы. Обжигъ черепицы Копченіе. Ангобированіе. Глазурованіе 284

Клинкеръ.—**Расстолить.**—**Гончарныя плиты.**—**Изразцы.** Гончарныя трубы. Формовка трубъ. Обжигъ трубъ 291

Огнеупорные камни. Шамотные кирпичи.—**Динасъ** (кварцовый кирпичъ).—**Бокситъ.**—**Основные кирпичи.** Магнезитовый камень. Доломитовый камень. Нейтральные камни. Уралитъ 298

Испытаніе глиняныхъ строительныхъ матеріаловъ. Испытаніе обыкновеннаго строительнаго кирпича. Испытаніе черепицы Испытаніе плитъ и мостовыхъ клинкеровъ. Испытаніе гончарныхъ трубъ 303

Строительные матеріалы, въ составъ которыхъ не входитъ глина.

Ксилолитъ. Литонидъ. Шлаковыя камни. Легкіе камни. Строительные матеріалы изъ пробки 307

Силикатный кирпичъ.

(Искусственный песчано-известковый камень).

Анализы песчано-известковаго камня. Сырые матеріалы фабрикаціи. Песокъ. Известь. Способъ фабрикаціи силикатнаго кирпича. Сравненіе песчано-известковаго кирпича съ глинянымъ 311

Литературные источники. 320

Часть II.

Желѣзо.

Историческій обзоръ. Химическое чистое желѣзо. Желѣзо и углеродъ. Желѣзо и кремній. Желѣзо и марганецъ. Желѣзо и фосфоръ. Желѣзо и сѣра. Видоизмѣненіе собственно желѣза или элементовъ структуры. Феритъ. Цементитъ. Перлитъ. Закалитъ или мартенситъ,

горденситъ, тремнитъ. Формы углерода въ заводскомъ желѣзѣ. Классификація продажныхъ сортовъ заводского желѣза 321

Способы получения различныхъ сортовъ заводского желѣза.

- Чугунъ.** Сырые материалы производства. Магнитный желѣзнякъ. Безводная окись желѣза. Бурые желѣзняки. Шпатовый желѣзнякъ 335
- Выплавка чугуна.* Подготовительныя работы. Доменные печи. Новѣйшія усовершенствованія въ устройствѣ доменныхъ печей. Общій ходъ работы въ доменной печи. Процессы въ доменной печи 339
- Сорта чугуна и ихъ свойства.* Сѣрый чугунъ. Сорта бѣлаго чугуна. Строеніе и свойства литого чугуна. Механическія свойства чугуна. Коэффициентъ упругости. Сопротивленіе чугуна разрыву. Сопротивленіе чугуна изгибу. Сопротивленіе раздробленію. Отбѣливаніе чугуна. Закалываніе чугуна. Ковкій чугунъ 348
- Способы формовки чугуна.* Переплавка чугуна въ тигляхъ. Переплавка чугуна въ пламенныхъ или отражательныхъ печахъ. Переплавка чугуна въ вагранкахъ. Отливка чугуна. Общія правила для испытанія чугунныхъ издѣлій 357
- Ковкое желѣзо.** Полученіе изъ чугуна коваго желѣза. Кричный способъ. Пудлинговый способъ 361
- Литой металлъ.** Способъ Бессемера.—Способъ Томаса. Устройство аппарата для бессемерованія. Ходъ работы въ конверторахъ. Ходъ работы при основномъ способѣ бессемерованія 366
- Способъ Мартена.* Печь Сименса-Мартена. Ходъ работы въ печахъ Сименса-Мартена. Размѣры и производительность печей 373
- Цементная и тигельная сталь.** Способы формовки желѣза и стали. Отливаніе. Ковка желѣза. Прокатка 376
- Способы соединенія желѣзныхъ частей.* Сварка. Пайка. Склеиваніе 382
- Строеніе и свойства коваго желѣза.* Механическія свойства коваго желѣза. Законъ Робертса-Остена. Закалываніе стали. Отжиганіе. Вліяніе механической обработки на свойства коваго желѣза. Вліяніе термической обработки на свойства стали (Теорія проф. Чернова) 383
- Механическія испытанія желѣза.* Испытанія желѣза на сопротивленіе разрыву, на пластичность 405
- Торговые сорта желѣза и стали* 410
- Примѣненіе чугуна, желѣза и стали въ строительномъ дѣлѣ* 412
- Отношеніе желѣза, какъ строительнаго матеріала, къ атмосфернымъ дѣятелямъ и къ высокой температурѣ при пожарахъ* 414

Дерево.

- Строеніе дерева. Кѣтка. Размноженіе кѣтокъ. Ткани. Процессы питанія и роста дерева. Продолжительность жизни различныхъ деревьевъ. Описаніе главнѣйшихъ видовъ деревьевъ. Хвойныя деревья. Лиственныя деревья 416
- Техническія свойства дерева.* Влажность дерева. Удѣльный вѣсъ дерева. Крѣпость дерева. Гибкость. Колкость. Твердость дерева. Прочность дерева 439

Пороки дерева. Трещины. Неправильности въ расположеніи волоконъ дерева. Ненормальности въ развитіи нѣкоторыхъ частей ствола. Сучковатость. Различнаго рода пораненія дерева. Поврежденіе дерева животными паразитами. Вліяніе влажности и мѣры противъ нея. Мѣра противъ появленія трещинъ и коробленія. Методы сушки дерева 448

Болезни дерева. Гніеніе. Домовый грибокъ (*Merulius lacrimans*). Антигигиеническое значеніе домового грибка. Мѣры противъ домового грибка. Болезни живыхъ деревьевъ 456

Мѣры для увеличенія срока службы дерева. Мѣры противъ гніенія. Окраска. Удаленіе растительныхъ соковъ. Пропитываніе дерева антисептиками 462

Мѣры для уменьшенія воспламеняемости дерева 468

Заготовка лѣсного матеріала. Время валки дерева 469

Сорта лѣсныхъ матеріаловъ 470

Естественные каменные матеріалы.

Важнѣйшіе матеріалы, входящіе въ составъ наиболѣе употребительныхъ въ строителномъ дѣлѣ горныхъ породъ, и ихъ свойства. Силикаты. Группа полевыхъ шпатовъ. Группа слюды. Роговые обманки. Минералы, содержащіе углекислоту. Минералы, содержащіе сѣрную кислоту. Классификація горныхъ породъ 473

Простыя горныя породы. Гипсъ. Известняки. 476

Сложныя горныя породы. Массивныя сложныя породы Гранить. Сіенить. Порфиръ. Серпентинъ. Слоистыя сложныя породы: Гнейсъ. Слюдяной сланецъ 479

Обломочныя породы. Рыхлыя породы. Глинистыя породы. Цементныя породы 484

Добываніе камней. Выломка слоистыхъ породъ. Выломка сплошныхъ породъ 486

Обдѣлка камней. Обтеска камней. Машинная обтеска камней. Шлифовка. Полировка 490

Свойства строительныхъ камней и ихъ испытанія. Удѣльный вѣсъ. Пористость. Теплопроводность. Коэффициентъ расширенія. Звукопроводность. Окраска камней. Воздухопроводность. Твердость. Способность къ полировкѣ. Огнестойкость 493

Спротивляемость механическимъ усиліямъ. Спротивляемость изнашиванію. Крѣпость. Коэффициентъ прочности 498

Факторы, обуславливающіе разрушеніе каменныхъ породъ 503

Консервированіе камней 504

Асфальтъ.

Историческій обзоръ. 506

Асфальтовый камень. Мѣсторожденія асфальтового камня. Испытаніе асфальтового камня 507

Гудронъ 512

Асфальтовая мастика 514

<i>Способы производства асфальтовых работъ. Литой или плавлен- стр- ный способъ. Прессованный способъ. Примѣненія асфальта. Асфальто- вые плитки. Асфальтовый бетонъ</i>	516
--	-----

Гипсъ.

<i>Примѣненіе гипса. Скагліола. Гипсовый бетонъ</i>	521
<i>Фабрикація строительнаго гипса. Обжигъ гипса</i>	524
<i>Испытанія продажнаго обожженнаго гипса</i>	525

Литературные источники ко 2-ой части	527
---	-----

Приложеніе, на которое дѣлаются ссылки въ курсѣ, выйдетъ отдѣль-
нымъ оттискомъ.

Чертежи съ 191 по 200, 207 и съ 318 по 332 будутъ помѣщены въ
приложеніи въ отдѣлѣ: „химическій анализъ и изслѣдованіе микроструктуры“.

ЛЕНС.

Полное собрание сочинений

Цѣна курса съ атласомъ **5** рублей.